



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUSSI KINNUNEN
AJAN VAIKUTUS KITKAPAALUJEN GEOTEKNISEEN KESTÄ-
VYYTEEN

Diplomityö

Tarkastaja: professori Tim Länsivaara
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Rakennetun ympäristön tiedekunta-
neuvoston kokouksessa 8. huhtikuuta
2015

TIIVISTELMÄ

JUSSI KINNUNEN: Ajan vaikutus kitkapaalujen geotekniseen kestävyYTEEN

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 130 sivua, 300 liitesivua

Elokuu 2015

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Pääaine: Yhdyskuntarakentaminen

Tarkastaja: professori Tim Länsivaara

Avainsanat: kitkapaalu, koepaalutus, dynaaminen koekuormitus

Tavallisesti kitkapaalujen geotekninen kestävyys kasvaa paalujen asennuksen jälkeen ajan kuluessa. Kitkapaalujen geoteknisen kestävyYden kasvamista on tutkittu maailmalla paljon, mutta Suomen olosuhteissa kitkapaalujen geoteknisen kestävyYden kasvusta on hyvin vähän tietoa. Tämän diplomityön tavoitteena oli selvittää ajan vaikutus kitkapaalun geoteknisen kestävyYden kasvuun suomalaisissa olosuhteissa. Työn toinen pää-tavoite oli selvittää nykyisten Suomessa käytettävien pohjatutkimustuloksiin perustuvi-en mitoitusmenetelmien toimivuutta kitkapaaluilla.

Tutkimus suoritetaan kirjallisuus- ja kenttätutkimuksena. Kirjallisuusosuudessa esitel-lään pohjatutkimustuloksiin perustuvat mitoitusmenetelmät sekä aikatekijän taustalla vaikuttavat teoriat ja tutkimustulokset ulkomailta. Kirjallisuusosuudessa esitellään myös dynaamisen koekuormituksen ja signaalinmallinnuksen perusteoriaa.

Kenttätutkimusosuudessa esitellään ja analysoidaan kahden sillan koepaalutuksen mit-taustulokset. Koepaalutukset tehtiin ratavälillä Liminka–Oulu, haastavissa pohjaolosuh-teissa, joissa kallio sijaitsee GTK:n tutkimuksien mukaan jopa 60–140 m syvyydessä (Breilin & Putkinen 2012). Koepaaluille tehtiin dynaamisia koekuormituksia ja signaa-linmallinnusta neljässä eri vaiheessa: ensimmäinen vaihe paalujen asennuksen yhtey-dessä, toinen noin 24 h kuluttua asennuksesta, kolmas noin 14 vuorokauden kuluttua paalujen asennuksesta ja viimeinen noin 28 vuorokauden kuluttua paalujen asennukses-ta.

Tutkimuksen perusteella kitkapaalujen geotekninen kestävyys kasvaa merkittävästi ajan kuluessa. Kuvassa 7.13 on esitetty aikaisempien kirjallisuudessa esitettyjen tutkimuksi-en ja tämän tutkimuksen paalujen geoteknisen kestävyYden kasvu. Voimakkainta kasvu on ensimmäisen kahden viikon aika, mutta myös tämän jälkeen tapahtuu merkittävää kasvua. Kirjallisuustutkimuksen mukaan kasvua voi tapahtua yli 100 vuorokauden ajan paalun asennuksesta. Huomioimalla kitkapaalujen geoteknisen kestävyYden kasvami-nen, voidaan säästää merkittävästi paalutuksesta aiheutuneissa kustannuksissa.

Koekohteiden olosuhteissa pohjatutkimustuloksiin perustuvat mitoitusmenetelmät an-toivat hyvin vaihtelevia tuloksia ja menetelmien toimivuudesta ei voida tämän tutki-muksen perusteella vetää johtopäätöksiä. Toimivuuden arviointia varten ei ollut riittä-västi pohjatutkimuksia koepaalujen läheisyydestä ja tarvittavia maaparametreja, kuten tilavuuspainoa ja leikkauskestävyyskulmaa ei ollut määritetty. Tutkimuksen yhteydessä löytyi useita jatkotutkimustarpeita. Jatkotutkimustarpeita ovat esimerkiksi dynaamises-sa koekuormituksessa syntyneen painuman merkitys tuloksen oikeellisuuteen ja paalun halkaisijan vaikutus geoteknisen kestävyYden kasvuun.

ABSTRACT

JUSSI KINNUNEN: Time-related increase in bearing resistance of friction piles
Tampere University of Technology
Master of Science Thesis, 130 pages, 300 Appendix pages
August 2015
Master's Degree Programme in Civil Engineering
Major: Municipality Engineering
Examiner: Professor Tim Lämsivaara

Keywords: friction pile, test piling, dynamic load test

The bearing resistance of friction piles usually increases over time after installation. Recently many studies have been made about time-related increase in bearing resistance of friction piles in several countries. Though, in Finnish soil conditions there are little knowledge of time related increase in bearing resistance. The aim of this master's thesis was to examine the time dependency of friction pile's bearing resistance in Finnish soil conditions. The second aim of this thesis was to examine the ability of soil investigation-based pile design methods used in Finland, to predict pile resistance.

This study consists of literature and experimental parts. The literature part introduces the pile design methods based on soil investigations and the theories behind the increase of bearing resistance. Also the basic theory behind the dynamic load test and signal matching and some research results of bearing resistance increase of friction piles from abroad are included in the literature part. In the experimental part the test results of two test piling sites are introduced and analyzed. Test pilings were conducted at bridge sites which were located in railway from Liminka to Oulu. Soil conditions at the test sites are challenging as the bedrock surface is located in 60–140 m depth based on investigations by Geological Survey of Finland (Breilin & Putkinen 2012). The test piles were closed end steel pipe piles and driven precast concrete piles. The test piles were investigated by dynamic load testing in four phases: the first phase at the end of driving (EOD), the second phase about 24 hours after the EOD, the third phase about 14 days after the EOD and the last phase about 28 days after the EOD. Signal matching for measured signals was also performed.

The study shows that the bearing resistance of friction piles showed significant increase with time. Test results are presented figure 7.13 as well as the results of previous studies about time-related increase in bearing resistance of friction piles. The test results indicate that the major increase happens in two weeks, but also after two weeks the increase is noticeable. According to the literature study the bearing resistance increase will continue over 100 days after EOD. Remarkable costs in piling projects can be saved if the increase in bearing resistance is taken into account.

At the test piling sites the design methods based on site investigations gave variable results and clear conclusion about the ability of methods could not be done. There were not enough laboratory tests for soil samples near the test piles and soil parameters such as unit weight and friction angle had not been determined. During the study many further research topics were found. Further research topics are for example the meaning of settlement in dynamic load test to the validity of result and the effect of pile diameter to the increase in bearing resistance.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Liikenneviraston tilauksesta. Haluan kiittää Liikennevirastoa työni rahoituksesta ja Liikenneviraston työntekijöitä Panu Tollaa ja Veli-Matti Uotista työni ohjauksesta.

Haluan kiittää Inspecta Oy:tä työni rahoituksesta ja puitteiden tarjoamisesta työn tekemistä varten. Esitän erityiskiitokset työni ohjauksesta ja lukuisista muista neuvoista diplomi-insinööreille Teemu Riihimäelle ja Teemu Revolle. Työn tarkastamisesta ja ohjauksesta kiitän professori Tim Länsivaaraa.

Lisäksi kiitän työni kommentoinnista tekniikan lisensiaatti Juha Heinosta Skanska Infra Oy:stä.

Tampereella, 30.7.2015

Jussi Kinnunen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet	1
1.3	Tutkimuksen rajaukset	2
1.4	Työn suoritus	2
2.	PAALUN JA MAAN YHTEISTOIMINTA	3
2.1	Paalujen luokittelu ja toimintatapa	3
2.2	Paalutuksen vaikutus ympäristöön	5
2.3	Paalun geoteknisen kestävyysmobilisoituminen	6
3.	POHJATUTKIMUSTULOKSIIN PERUSTUVA PAALUN GEOTEKNISEN PURISTUSKESTÄVYYDEN MÄÄRITYS SUOMESSA	11
3.1	Yleistä	11
3.2	Staatinnen kantavuuskaava	11
3.2.1	Paalun kärkikestävyys	13
3.2.2	Paalun vaippakestävyys	18
3.3	Paalun geotekninen kestävyys heijarikairausvastuksen perusteella	20
3.4	Paalun geotekninen kestävyys puristinkairausvastuksen perusteella	22
3.5	Paalun geotekninen kestävyys puristin-heijarikairausvastuksen perusteella	25
3.6	Eurokoodin käyttö	26
3.6.1	Mallipaalumenetelmä (RIL 254-2011)	27
3.6.2	Vaihtoehtoinen menetelmä (RIL 254-2011)	28
4.	AIKATEKIJÄ	29
4.1	Tausta	29
4.2	Maan ikääntyminen	33
4.3	Viruma	35
4.4	Imperial College lähestymistapa (Jardine et al. 2005)	38
4.4.1	Maarakeiden koon, muodon ja lujuuden vaikutus	41
4.4.2	Vaippapinnan karkeuden vaikutus	42
4.4.3	ICP-metodi	43
4.5	Rajoitettu dilataatio	47
4.6	Aikatekijän laskentakaavat	48
4.6.1	Skov & Denver (1998)	48
4.6.2	Svinkin (1996)	49
4.6.3	Alawneh et al. (2009)	50
5.	DYNAAMINEN KOE KUORMITUS JA SIGNAALINMALLINNUS	52
5.1	Tausta	52
5.2	Dynaaminen koekuormitus	53
5.2.1	Laitteisto	54
5.2.2	Iskuaaltoteoria	57

5.2.3	Dynaamisen koekuormituksen käyttösovellukset.....	59
5.3	Signaalinmallinnus	62
5.4	Geotekninen puristuskestävyys dynaamisen koekuormituksen perusteella.....	64
6.	KOEKOHTEIDEN ESITTELY.....	68
6.1	Yleisesittely	68
6.2	Zatelliitin alikulkusilta	72
6.2.1	Pohjasuhteet	73
6.3	Tuuliharjun alikulkusilta	76
6.3.1	Pohjasuhteet	77
6.4	Koepaalutuksen toteutus	79
6.5	Mittaus- ja paalutuskalusto.....	81
6.6	Paalutustyö	84
7.	MITTAUSTULOKSIEN JA LASKELMIEN ESITTELY JA ANALYSOINTI ...	87
7.1	Yleistä.....	87
7.2	Dynaamiset koekuormitukset ja CAPWAP-analyysit.....	87
7.2.1	Zatelliitti.....	88
7.2.2	Tuuliharju.....	99
7.2.3	Dynaaminen paalutускааva.....	105
7.3	Vaimennuskerroinanalyysi.....	107
7.4	Virhelähteet ja toistettavuus	109
7.5	Pohjatutkimustuloksiin perustuvat laskelmat.....	110
7.5.1	Zatelliitti.....	110
7.5.2	Tuuliharju.....	112
7.6	Aikatekijän laskenta teoreettisten kaavojen avulla	113
7.7	Kitkapaaluvaihtoehdon kustannussäästöt.....	117
8.	JOHTOPÄÄTÖKSET	119
	LÄHTEET	124

Liite 1. Zatelliitin koepaalutuspiirustukset, 3 sivua

Liite 2. Laboratoriotutkimustulokset Zatelliitin maanäytteistä ja rasialeikkauskokeiden tulokset Zatelliitista pisteestä R571, 23 sivua

Liite 3. Zatelliitin CPTU-kairaukset, 16 sivua

Liite 4. Tuuliharjun koepaalutuspiirustukset, 3 sivua

Liite 5. Zatelliitin koepaalujen paalutuspöytäkirjat, 10 sivua

Liite 6. Tuuliharjun koepaalujen paalutuspöytäkirjat, 3 sivua

Liite 7. Zatelliitin ja Tuuliharjun koepaalujen iskuaaltokuvaajat, 61 sivua

Liite 8. Zatelliitin ja Tuuliharjun koepaalujen CAPWAP-analyysitulosteet, 168 sivua

Liite 9. Kairausvastukseen perustuvat laskelmat paalujen geoteknisestä kestävyydestä, 11 sivua

LYHENTEET JA MERKINNÄT

A	<i>kerroin, joka ilmaisee paalun puristuskestävyyden suhteellisen kasvun ajan logaritmiluvulla</i>
A_b	<i>paalun kärjen pinta-ala</i>
A_c	<i>betonin poikkileikkausala</i>
A_{\min}	<i>puun minimi poikkileikkausala</i>
A_{pl}	<i>paalun poikkileikkausala</i>
A_s	<i>teräksen poikkileikkausala</i>
$A_{s,i}$	<i>paalun vaipan pinta-ala maakerroksessa i</i>
B	<i>paalun sivumitta</i>
c	<i>aallon nopeus paalumateriaalissa</i>
D	<i>paalun halkaisija</i>
D_{CPT}	<i>CPT-kairan kärjen halkaisija, 36 mm</i>
D_r	<i>maan suhteellinen tiiviys</i>
d_{50}	<i>maan keskimääräinen raekoko</i>
E	<i>paalun kimmomoduuli</i>
F	<i>voima</i>
f_{ck}	<i>betonin puristuslujuuden ominaisarvo</i>
$F_{c,lyönti}$	<i>suurin lyöntivoima asennuksessa (puristusrasitus)</i>
$f_{c;o;k}$	<i>puun puristuslujuuden ominaisarvo syiden suunnassa</i>
f_s	<i>vaippakestävyys murtotilassa</i>
$F_{t,lyönti}$	<i>suurin lyöntivoima asennuksessa (vetorasitus)</i>
f_{yk}	<i>teräksen puristuslujuuden ominaisarvo</i>
G	<i>maan leikkausmoduuli</i>
h	<i>etäisyys paalun kärjestä tarkastelutasolle</i>
J_c	<i>CASE-menetelmän vaimennuskerroin</i>
K	<i>korjaustekijä</i>
k_c	<i>kärkivastuksen korjauskerroin</i>
$K_s \tan \varphi_a$	<i>vaippakestävyyskerroin</i>
L	<i>paalun pituus</i>
N_q	<i>paalun kärjen kantavuuskerroin</i>
N_{20}	<i>heijarikairavastus kärkivyyhykkeessä</i>
P_a	<i>ilmanpaine 100 kPa</i>
Q	<i>paalun geotekninen kestävyys ajanhetkellä t</i>
Q_0	<i>paalun geotekninen kestävyys ajanhetkellä t_0</i>
q_b	<i>kärkikestävyys</i>
$q_{b;k}$	<i>kärkikestävyyden ominaisarvo</i>
q_c	<i>CPT-kairausvastus</i>
$q_{c;b}$	<i>kärkikestävyyden keskiarvo kärkivyyhykkeessä</i>
$q_{c,i}$	<i>paalun kärkikestävyys kerroksessa i</i>
$q_{s;i;k}$	<i>vaippakestävyyden ominaisarvo maakerroksessa i</i>
R	<i>paalun säde</i>
$R_{b;cal}$	<i>paalun kärjen geotekninen kestävyys laskettuna pohjatutkimustuloksista</i>
$R_{b;k}$	<i>paalun kärjen geoteknisen kestävyyden ominaisarvo</i>

R_{cla}	paalun vaippapinnan keskilinan keskimääräinen karkeus
$R_{c;cal}$	paalun geotekninen puristuskestävyys murtorajatilassa laskettuna pohjatutkimustuloksista
$R_{c;d}$	paalun geotekninen puristuskestävyyden mitoitusarvo
$R_{c;k}$	paalun geotekninen puristuskestävyyden ominaisarvo
$R_{c;m}$	R_c :n mitattu arvo
R_{ekv}	paalun ekvivalentti säde
$R_{k;geo;max}$	paalun geoteknisen kestävyysmaksimi
$R_{s;cal}$	paalun vaipan geotekninen kestävyys laskettuna pohjatutkimustuloksista
$R_{s;k}$	paalun vaipan geoteknisen kestävyys ominaisarvo
RSP	staattinen vastus
RTL	kokonaislyöntivastus
R^*	avoimen teräsputkipaalun säde
t	paalun asennuksesta kulunut aika (EOID)
t_0	paalun lyömisestä kulunut aika
$t_{0;c}$	aika, kun nopeus on nolla (ennen $2L/C$)
t_1	iskun ajankohta
t_2	paalun kärjestä heijastuneen aallon ajankohta ($t_1 + 2L/C$)
t_3	$(2t_1 + 2L/C - t_0)$
t_0	kulunut aika paalun lyömisestä
T_{50}	paalun 50 % setupin kehittymiseen vaadittu aika
V	partikkelinopeus
W	paalun tehokas paino

Kreikkalaiset kirjaimet

α	empiirinen kerroin
α_i	vaippavastuksen korjauskerroin kerroksessa i
$\Delta\sigma'_r$	tehokkaan jännityksen muutos kuormituksen seurauksena
$\Delta\sigma'_{rd}$	tehokkaiden säteen suuntaisten jännitysten muutos kuormituksessa dilataation seurauksena
$\Delta\sigma'_{rp}$	tehokkaiden säteen suuntaisten jännitysten muutos kuormituksessa pääjännitysten kiertymisen seurauksena
δ_{cv}	paalun vaipan ja maan välisen rajapinnan leikkauskestävyyskulma vakio tilavuudessa
δ_f	paalun vaipan ja maan välisen rajapinnan leikkauskestävyyskulman huippuarvo
δ_h	vaakasiirtymä (dilataatio)
σ'_{rc}	tehokas säteen suuntainen jännitys asennuksen jälkeen
σ'_{rf}	tehokas vaipalla vaikuttava säteen suuntainen jännitys murtotilassa
$\sigma'_{v;b}$	tehokas pystysuora jännitys paalun kärjen tasolla
$\sigma'_{v;i}$	tehokas pystysuora jännitys paalun vaipalla maakerroksessa i
σ'_{v0}	tehokas pystysuora jännitys
τ_f	leikkausjännitys murtotilassa
γ_b	paalun kärkikestävyys osavarmuusluku
γ_s	paalun vaippakestävyys osavarmuusluku

$\xi_3; \xi_4$	<i>korrelaatiokertoimet paalun kestävyuden määrittämiseksi pohjatutkimustuloksista</i>
$\xi_5; \xi_6$	<i>korrelaatiokertoimet paalun kestävyuden määrittämiseksi dynaamisten koekuormitusten tuloksista</i>
ϕ	<i>maan leikkauskestävyyskulma ("kitkakulma")</i>

Lyhenteet

ATU	Aukean tilan ulottuma
CAPWAP	CAsE Pile Wave Analysis Program
CPT	Cone Penetration Test
EOD	End of driving
EOID	End of initial driving
ICP	Imperial College Pile
PDA	Pile Driving Analyzer
RS	Restrike
WEAP	Wave Equation Analysis Program

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Kitkapaalujen geoteknisen kestävyys on osoitettu kasvavan paalujen upotuksen jälkeen joitakin kuukausia, jopa yli vuoden (Tavenas & Audy 1972; York et al. 1994; Chow et al. 1998; Axelsson 2000). Paalujen geoteknisen kestävyys kasvun oletetaan johtuvan maan ikääntymisestä (soil ageing) ja virumasta (stress relaxation). Aihetta on tutkittu paljon eri puolilla maailmaa, mutta Suomen olosuhteissa kitkapaalujen geoteknisen kestävyys kasvusta on varsin vähän tietoa. Suomessa kitkapaalujen käyttö on vähäistä ja tukipaaluja käytetään mieluummin, vaikka paalupituudet kasvaisivat merkittävästi. Päällimmäisenä syynä kitkapaalujen vähäiseen käyttöön on Suomen geologia, jossa kantava pohja on saavutettavissa melko lyhyellä paalupituudella. Tukipaalujen käytössä merkittävänä etuna on myös aikataulujen parempi hallittavuus. Yhtenä syynä kitkapaalujen vähäiseen käyttöön voi olla myös käyttökokemuksen puute.

Tutkimuksessa käsitellään kahden sillan koepaalutuksesta saatuja dynaamisten koekuormitusten tuloksia ja arvioidaan tuloksien perusteella ajan vaikutusta koepaalujen geotekniseen kestävyys koekohteiden olosuhteissa. Tutkimuksen koekohteet sijaitsevat ratavälillä Liminka–Oulu. Koekohteilla on todella haastavat pohjaolosuhteet, kun kallio sijaitsee GTK:n tutkimuksien mukaan jopa 60–140 m syvyydessä ja pohjatutkimuksien mukaan kantava sora- tai moreenikerros sijaitsee 50–60 m syvyydessä (Breilin & Putkinen 2012; Maapeitekartta GTK Hakku).

Suomessa paalujen geoteknisessä mitoituksessa voidaan käyttää pohjatutkimustuloksiin perustuvia menetelmiä tai koekuormitusten tuloksien perusteella tehtävää mitoitusta. Työssä esitellään molempia mitoitusmenetelmiä ja perehdytään myös menetelmien taustoihin. Pohjatutkimustuloksiin perustuvat menetelmät sisältävät todennäköisesti runsaasti sisäistä varmuutta, jolloin mitoitus ei ole taloudellista kyseisillä mitoitusmenetelmillä. Koekohteiden paalujen geotekninen kestävyys lasketaan pohjatutkimustuloksiin perustuvilla menetelmillä ja arvioidaan menetelmien toimivuutta.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää ajan vaikutus kitkapaalujen geoteknisen kestävyys kasvuun koekohteilta saatujen mittaustulosten ja kirjallisuustutkimuksen avulla. Tutkimuksen toinen päätavoite on selvittää nykyisten Suomessa käytössä olevien pohjatutkimustuloksiin perustuvien mitoitusmenetelmien toimivuutta kitkapaaluilla.

Tutkimuksen alatavoitteena on pystyä ohjeistamaan, kuinka kitkapaalujen dynaamiset koekuormitukset tulisi suorittaa, sekä mitä asioita tulisi huomioida kitkapaalukohteiden koepaalutusta suunniteltaessa.

1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksessa ei käsitellä tarkemmin tukipaaluja vaan keskitytään kitkapaaluihin. Myöskään paalujen rakenteelliseen mitoitukseen ei työssä paneuduta, lukuun ottamatta paalujen sallittuja lyöntijännityksiä, jotka liittyvät kiinteästi dynaamisten koekuormitusten suorittamiseen.

Tutkimuksessa käsitellään vain Suomessa käytössä olevia pohjatutkimustuloksiin perustuvia menetelmiä paalujen geoteknisen murtokestävyyden määrittämiseksi, vaikka ulkomailla on käytössä monia erilaisia menetelmiä. Käytännön kokeet rajataan vain kahteen koekohteeseen, mutta kirjallisuustutkimuksessa etsitään lisätietoa maailmalla tehdyistä kokeista ajan vaikutuksesta paalujen geotekniseen kestävyys.

1.4 Työn suoritus

Työ suoritetaan kirjallisuus- ja kenttätutkimuksena. Kirjallisuustutkimuksessa on tarkoitus esitellä pohjatutkimustuloksiin perustuvat laskentamenetelmät ja käyttää menetelmiä koekohteiden paalujen geoteknisen kestävyys laskentaan. Kirjallisuustutkimuksessa selvitetään paalun geoteknisen kestävyys kasvun taustalla vaikuttavaa teoriaa ja lisäksi esitellään maailmalla tehtyjä tutkimuksia ajan vaikutuksesta paalujen geotekniseen kestävyys erilaisissa pohjaolosuhteissa. Työssä esitellään lisäksi dynaamisen koekuormituksen ja signaalinmallinnuksen teoriaa ja periaatteita, joita tarvitaan kenttätutkimusosioista saatuja mittaustuloksia analysoitaessa.

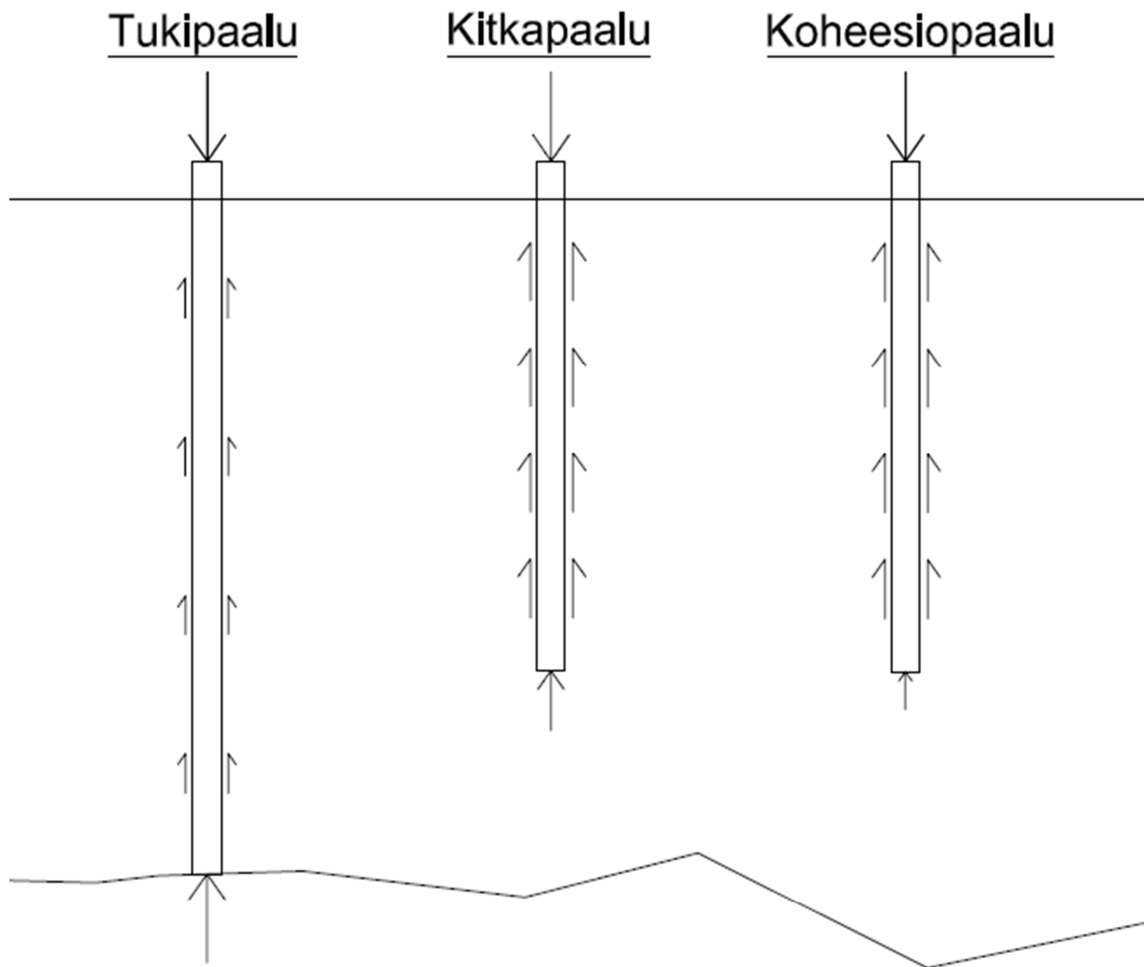
Kenttätutkimusosuudessa koekohteiden koepaaluille tehdään dynaamisia koekuormituksia ja signaalinmallinnusta neljässä mittaussvaiheessa. Ensimmäinen mittaussvaihe on paalujen upotuksen yhteydessä, toinen noin 24 h kuluttua paalujen upotuksesta, kolmas noin 14 vuorokauden kuluttua paalujen upotuksesta ja viimeinen mittaussvaihe on noin 28 vuorokauden kuluttua paalujen upotuksesta. Kenttätutkimusosuudesta saatuja mittaustuloksia analysoidaan ja vertaillaan pohjatutkimusten perusteella laskettuihin kestävyys. Laskettuja ja mitattuja tuloksia vertailemalla voidaan arvioida laskentamenetelmien luotettavuutta.

2. PAALUN JA MAAN YHTEISTOIMINTA

2.1 Paalujen luokittelu ja toimintatapa

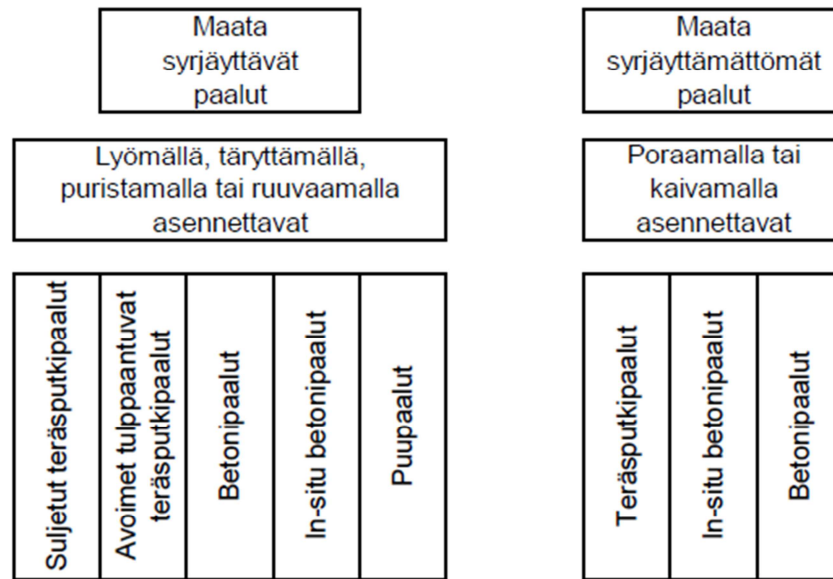
Maan ja paalun yhteistoiminta paalun asennuksessa ja kuormituksessa on tärkeää ymmärtää ja hallita, jotta paaluperustuksista tulee turvallisia ja kustannustehokkaita ratkaisuja. Paalut voidaan jakaa toimintatapansa mukaan: tukipaaluihin, kitkapaaluihin ja koheesiopaaluihin. Tukipaalut kantavat pääosan kuormastaan kärjen välityksellä, kun taas kitka- ja koheesiopaalut kantavat pääosan kuormasta vaipan välityksellä. Kitkapaalusta puhutaan, kun paalu on karkearakeisessa maassa, jossa vaippavastus muodostuu maan ja paalun vaipan välisestä kitkasta. Koheesiopaalusta puhutaan, kun paalu on koheesiomaassa, joissa vaippavastus muodostuu maan ja paalun vaipan välisestä adheesiosta.

Tukipaalut kantavat myös osan kuormastaan vaipan välityksellä, samoin kuin kitka- ja koheesiopaalut kantavat osan kuormastaan kärjen välityksellä. Paalujen toimintatapa-luokituksessa on joissakin lähteissä mainittu myös välimuotopaalu. Todellisuudessa kaikki paalut toimivat välimuotopaalujen tavoin, eli kantavat kuormaa sekä kärjellä että vaipalla. Paalujen toimintatapajako on tehty sen mukaan, kantaako paalu suurimman osan kuormasta kärjellä vai vaipalla. Kuvassa 2.1 on havainnollistettu paalujen toimintatapoja.



Kuva 2.1. Paalujen toimintatapa.

Paalut jaetaan vielä eurooppalaisen toteutusstandardin mukaan kahteen pääryhmään: maata syrjäyttäviin ja maata syrjäyttämättömiin. Eurooppalaisen toteutusstandardin mukainen jako perustuu paalujen asennustapaan ja siihen, kuinka paalujen asennus vaikuttaa ympäröivään maahan. Jakoa on havainnollistettu kuvassa 2.2.



Kuva 2.2. Paalujen jako kahteen pääryhmään eurooppalaisten toteutusstandardien mukaisesti.

2.2 Paalutuksen vaikutus ympäristöön

Paalujen asennus häiritsee maata paalun ympärillä ja hienorakeisemmissa maissa maata syrjäyttävien paalujen asennus nostaa huokosvedenpainetta. Yksittäisen maata syrjäyttävän paalun asennuksen voidaan olettaa nostavan huokosvedenpainetta 3-6 kertaa paalun läpimitan etäisyydellä paalusta (RIL 254-2011). Lisäksi paineellisen pohjaveden alueilla paalutus saattaa aiheuttaa pohjavedelle reitin nousta yläpuolisiin kerroksiin.

Lyöntipaalujen asennus tiivistää maata paalujen ympärillä. Kitkamaissa lyöntipaalun asennus tiivistää maata keskimäärin 5 kertaa paalun läpimitan etäisyydellä paalusta (Axelsson & Baker 2007). Löyhät kerrokset tiivistyvät lyöntipaalujen asennuksessa, jolloin painumia voi esiintyä yleensä 0,25–1 kertaa paalun maassa olevan pituuden suuruusella etäisyydellä paalusta (RIL 254-2011). Mikäli paalutettavan kohteen läheisyydessä on maanvaraisesti perustettuja rakenteita ja painumia on odotettavissa, täytyy paalujen asennustapa ja paalutyyppi valita sen mukaan.

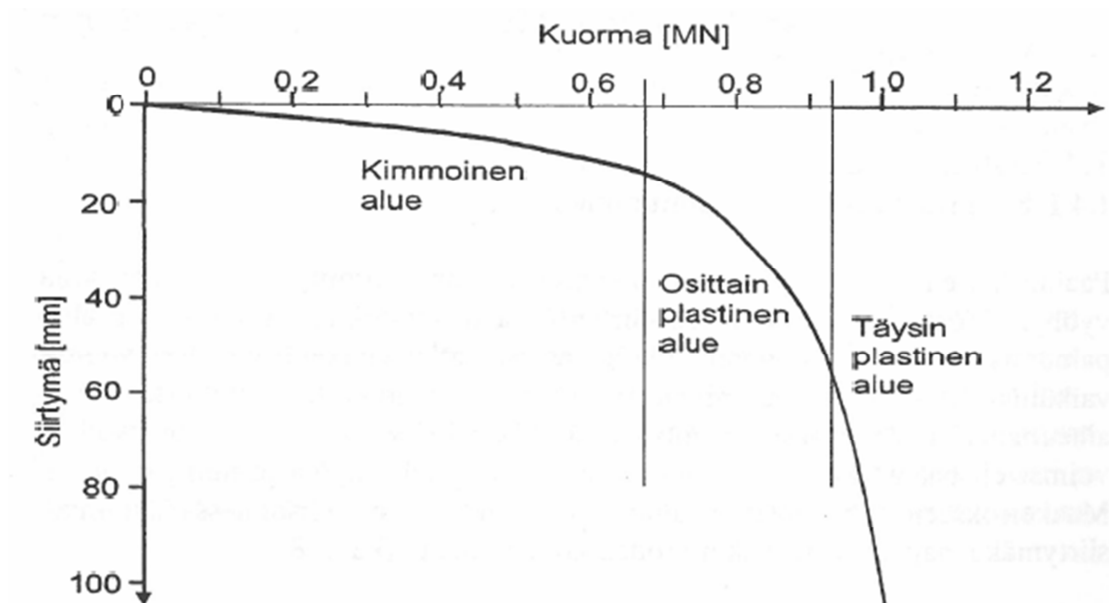
Paalutustyö aiheuttaa myös melua ja tärinää. Melun ja tärinän määrään voidaan vaikuttaa asennustavan, -kaluston ja paalutyyppin valinnalla. RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät (2010) on esitetty tärinän ohjearvoja ja ohjeet tärinän mittaamiseen. Tärinällä on myös maaperää tiivistävä vaikutus, jolloin paalutustyömaan lähialueilla voi syntyä painumia tärinän vaikutuksesta.

2.3 Paalun geoteknisen kestävyysmobilisoituminen

Paalun geoteknisen murtokestävyyden mobilisoitumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa paaluun kohdistuva kuormitus on niin suuri, että paalun liikkumista vastustava maan ja paalun välinen kontakti murtuu. Paalun geotekninen kestävyys voidaan jakaa kärki- ja vaippakestävyyteen, joiden mobilisoituminen tapahtuu erisuuruisilla siirtymillä.

Paalua asennettaessa paalun kärjen alapuolella maa siirtyy alaspäin ja tiivistyy. Kärjen alapuolinen tiivistynyt maa vastustaa paalun painumista. Maassa tapahtuvia muodonmuutoksia vastustaa maarakeiden välillä vaikuttavat vuorovaikutusvoimat. Vuorovaikutusvoimien suuruuteen vaikuttaa vallitsevat tehokkaat jännitykset. (Heinonen 1998).

Paalun painuessa riittävästi paalun kärkikestävyys mobilisoituu maarakeiden välisien vuorovaikutusvoimien mobilisoituessa. Vuorovaikutusvoimilla tarkoitetaan kitkaa ja koheesiota. Heinonen (1998) esitti, että paalun kärkikestävyys mobilisoituessa kuorma-siirtymäkuvaajasta voidaan havaita kolme aluetta: kimmoisin alue, osittain plastinen alue ja täysin plastinen alue. Kuvassa 2.3 on esitetty paalun kuorma-siirtymäkuvaaja, johon kyseiset alueet on merkitty.

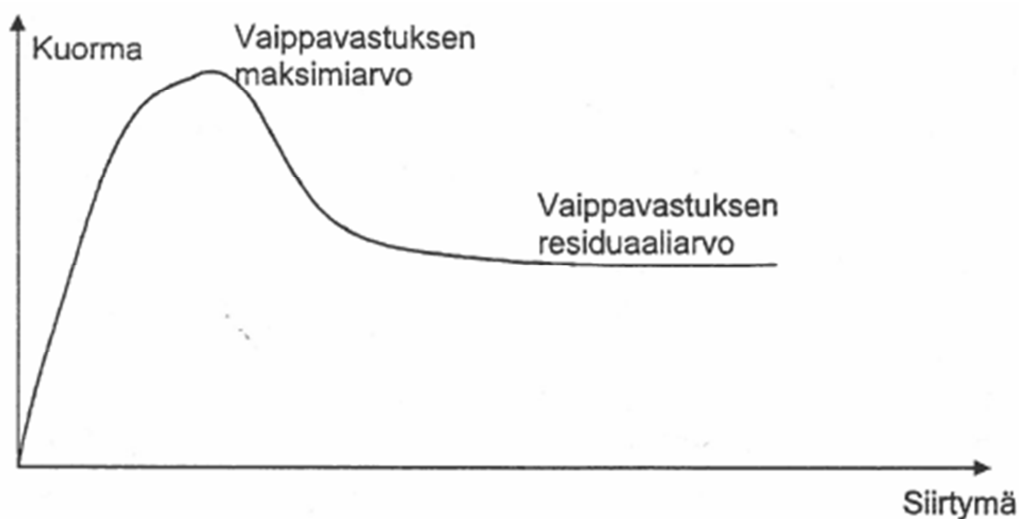


Kuva 2.3. Kuorma-siirtymäkuvaaja paalun kärkikestävyysmobilisoitumisesta (Heinonen 1998).

Kimmoisella alueella muodonmuutokset palautuvat, kun kuormitus poistetaan. Kuorman ja siirtymien kasvaessa siirrytään osittain plastiselle alueelle, jossa kuormituksen poiston jälkeen osa muodonmuutoksista jää pysyviksi, kun maarakeet järjestyvät uudelleen. Osittain plastisen alueen jälkeen, siirtymien kasvaessa, seuraa täysin plastinen alue, jossa paalun siirtymät kasvavat ilman ulkoisen kuormituksen lisäämistä. Tällöin muodonmuutokset ovat pysyviä.

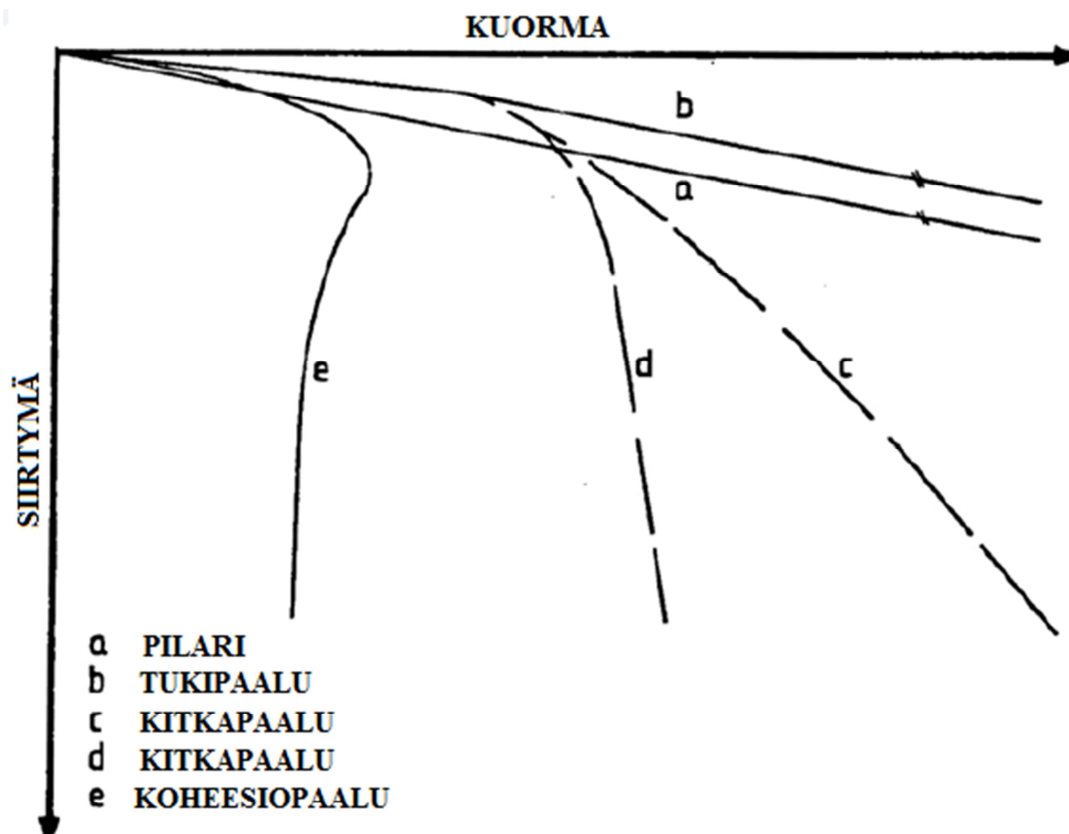
Edellä esitettyjen alueiden rajojen määrittäminen ei ole täysin yksiselitteistä ja ne riippuvat muun muassa paalun asennustavasta, paalun halkaisijasta ja pohjaolosuhteista. Maata syrjäyttävillä paaluilla paalun asennuksessa maa paalun kärjen alla tiivistyy ja kärkevastus mobilisoituu pienemmällä siirtymällä kuin maata syrjäyttämättömillä paaluilla. Kitkamaissa maata syrjäyttämättömillä paaluilla vaaditaan suuria siirtymiä kärkekestävyyden mobilisoitumiseen, koska kärjen alapuolisen maan tiivistymistä ei ole paalun asennuksessa merkittävästi tapahtunut. Poikkeuksena ovat kallioon tukeutuvat maata syrjäyttämättömät paalut, joiden kärkekestävyyden mobilisoitumiseen tarvitaan kallion lujuudesta johtuen hyvin pieni siirtymä.

Paalun vaippakestävyyden mobilisoitumiseen vaikuttavat vaipan karkeus, ympäröivien maalajien ominaisuudet ja vaipalla vaikuttavat jännitykset. Maata syrjäyttävän paalun asennus aiheuttaa vaipalla vaikuttavien jännitysten kasvua aikaviiveellä. Paalun asennus häiritsee paalua ympäröivää maata ja häirityn maan palautuminen ja jännitysten kehittyminen vaatii aikaa. Kuvassa 2.4 on esitetty vaippakestävyyden mobilisoitumista havainnollistava kuorma-siirtymäkuvaaja. Kuorma-siirtymäkuvaajalta on kärkekestävyyden tapaan havaittavissa kimmoinen, osittain plastinen ja täysin plastinen alue. Vaippakestävyyden maksimiarvo saavutetaan lyhyellä osittain plastisella alueella. Plastisella alueella vaikuttaa vaippakestävyyden residuaaliarvo.



Kuva 2.4. Kuorma-siirtymäkuvaaja paalun vaippakestävyyden mobilisoitumisesta (Heinonen 1998).

Eri toimintatavan paaluilla kuorma-siirtymäkuvaajat ovat hyvin erilaisia. Kuorma-siirtymäkuvaajan muoto riippuu merkittävästi siitä, kuinka geotekninen kestävyys on jakautunut paalun vaipan ja kärjen suhteen. Kuvassa 2.5 on havainnollistettu pilarin, tuki-, kitka- ja koheesiopaalun kuorma-siirtymäkäyttäytymistä samassa kuvaajassa.

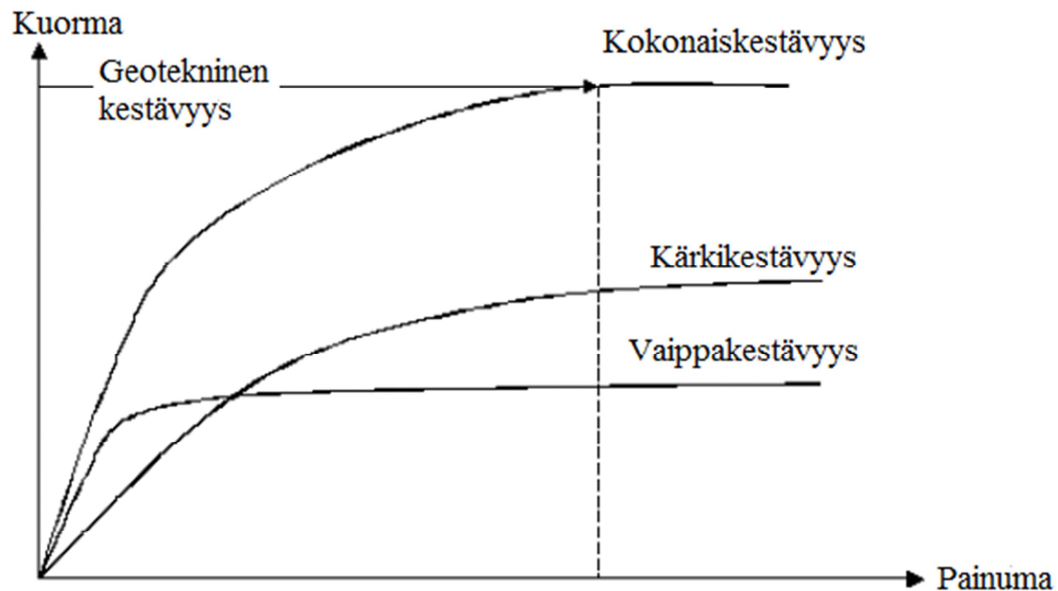


Kuva 2.5. Toimintatavaltaan erilaisten paalujen kuorma-siirtymäkuvaajia. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007 aikaisemmin Pålkommissionens rapport 59 1980).

Kuvassa 2.5 esitetyt paalut ovat samanpituisia, paalumateriaalit ja paalujen poikkileikkaukset ovat samoja, vain paalujen toimintatapa on erilainen. Tukipaalulla siirtymät ovat pienempiä kuin vastaavalla pilarilla, joka johtuu tukipaalua ympäröivän maan aiheuttamasta vaippavastuksesta. Pilarin vaippaa ei ympäröi maakerrokset, joten pilarin kestävyys on riippuvainen vain kärkikestävydestä. Kallioon tai tiiviiseen moreenikerrokseen tukeutuneella tukipaalulla paalun rakenteellinen kestävyys on usein alhaisempi kuin geotekninen kestävyys. Koheesiopaalulla geotekninen kestävyys riippuu pääosin vaippakestävyyydestä, joten vaippakestävyymen mobilisoituessa siirtymät kasvavat kuormitusta lisäämättä. Kitkapaalun käyttäytyminen riippuu vaippa- ja kärkikestävyys-suhteesta. Kitkapaalujen c ja d geotekninen murtokuorma on yhtä suuri, mutta paalulla d vaippakestävyyttä on suurempi osuus kokonaiskestävyyydestä, joka selittää suuremman siirtymän samalla kuormituksella. Kitkapaalulla c on suurempi lopullinen geotekninen kestävyys kuin paalulla d. Kuvan 2.5 tarkoituksena on vain selvittää paalujen kuorma-siirtymäkäyttäytymistä, eivätkä käyrät ole mistään todellisesta kuormitustilanteesta.

Paalun geoteknisen kestävyymen mobilisointumista arvioidaan paalun painumaa mittaamalla. Esimerkiksi dynaamisessa koekuormituksessa on tärkeä tietää, onko koekuormitusilla mobilisoitu paalun geotekninen kestävyys. Tavallisesti paalun geotekninen murtokestävyys mobilisoituu, kun painuma on 5 -10 % paalun halkaisijasta (Axelsson

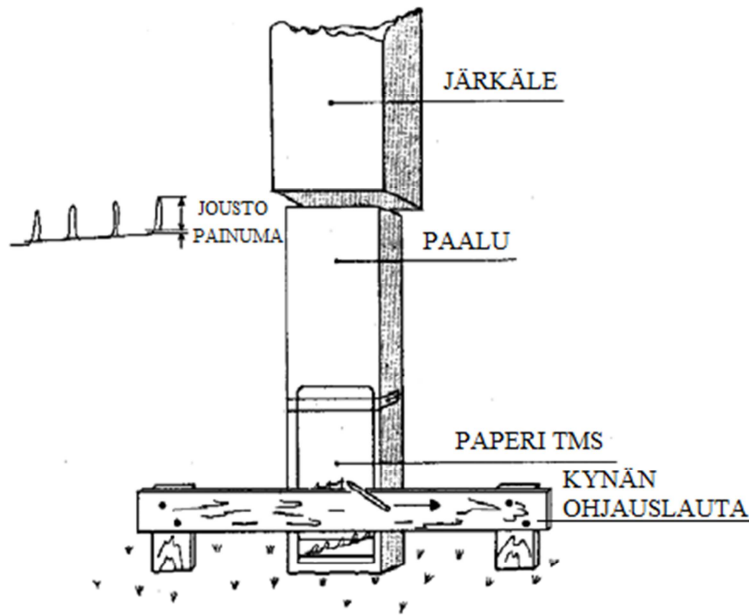
& Baker 2007). Tämä arvo kuvastaa kärkekestävyyden mobilisoitumista, mutta vaippakestävyys mobilisoituu jo, kun painuma on 0,5 – 2 % paalun halkaisijasta. Paalutusohjeessa (2011) on esitetty murtokestävyyden mobilisoitumiselle painuma-arvoksi, $s_c \geq d/120$, jossa d on paalun halkaisija. Kuvassa 2.6 on esitetty kitkapaalun kuormitus-painumakuvaaja, jossa on havainnollistettu, kuinka vaippakestävyys mobilisoituu selvästi pienemmällä painuman arvolla kuin kärkekestävyys.



Kuva 2.6. Kitkapaalun kuormitus-painumakuvaaja. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007 s. 32).

Paalun joudessa geotekninen kestävyys ei mobilisoidu, koska pysyvää painuma ei synny. Lyöntipaalun joustolla tarkoitetaan lyöntilaitteen iskusta johtuvaa paalun ja maan elastista kokoonpuristumaa. Elastinen kokoonpuristuma aiheuttaa vain hetkellisen muutoksen paalun pituudessa ja maan tilavuudessa paalun kärjen alapuolella ja vaipan välittömässä läheisyydessä. Elastiset kokoonpuristumat palautuvat alkuperäiseen tilanteeseen iskun jälkeen. Suuria joustoja esiintyy yleensä, kun tiiviiseen hienorakeiseen maahan asennetaan maata syrjäyttäviä paaluja. Hienorakeisissa maissa vedenläpäisevyys on alhainen ja maa alkaa joustaa paalun kärjen alapuolella, kun huokosveden ylipaine ei pääse purkautumaan ympäröivään maahan. Kitkamaissa vastaava käyttäytyminen on vähäisempää, koska huokosveden ylipainetta ei kehity samalla tavalla, kun vesi pääsee purkautumaan ympäröivään maahan. Paalupituuden kasvaessa myös paalun jousto yleensä kasvaa. Tukipaaluilla esiintyy yleensä suurempia joustoja kuin kitka- tai koheesiopaaluilla, koska kitka- ja koheesiopaalut ovat tarttuneet vaipalta, jolloin joustavaa paalupituutta on vähemmän kuin kärjestä kantavilla tukipaaluilla. Kitka- ja koheesiopaaluilla on lisäksi alhaisempi kärkekestävyys, jolloin paalu niin sanotusti karkaa lyönnin alta pois, eikä joustaa. Kärjeltä kantava tukipaalu ei pääse karkaamaan lyönnin alta ja tällöin paalu joustaa enemmän.

Lyöntipaalun joustoa ja painumaa voidaan mitata työmaaolosuhteissa kynän ja ohjauslaudan avulla. Maahan asetetaan tukevasti ohjauslauta, jota vasten pystytään pitämään kynän kärkeä kiinni paalun kyljessä paalua lyötäessä. Kynä piirtää tällöin paalun kylkeen tai paaluun kiinnitettyyn paperiin ”kuvaajaa” paalun joustosta ja painumasta. Jousto ja painuma voidaan mitata kuvaajalta lyöntien jälkeen. Menetelmä on havainnollistettu kuvassa 2.7. Myös muita vastaavia tapoja on käytössä, mutta kynän ja ohjauslaudan avulla jousto ja painuma saadaan määritettyä melko tarkasti ja nopeasti.



Kuva 2.7. Painuman ja jouston mittaus työmaaolosuhteissa (Axelsson & Baker 2007).

3. POHJATUTKIMUSTULOSSIIN PERUSTUVA PAALUN GEOTEKNISEN PURISTUSKESTÄ- VYYDEN MÄÄRITYS SUOMESSA

3.1 Yleistä

Luvussa esitellään Suomessa käytettävät, pohjatutkimustuloksiin perustuvat, paalun geoteknisen puristuskestävyyden määrittämenetelmät. Paalun geotekninen puristuskestävyys voidaan määrittää staattisen kantavuuskaavan sekä empiiristen kairausvastuksiin perustuvien menetelmien avulla. Eurokoodin mukaan menetelmistä johdetaan mitoitusarvot osavarmuuslukujen ja korrelaatiokertoimien avulla.

Menetelmien, joilla paaluperustuksen kestävyyttä arvioidaan pohjatutkimustulosten perusteella, tulee olla tunnettuja ja käyttäjällä pitää olla niistä kokemusta. Pohjatutkimustulosten perusteella tehtävä mitoitus on aina alustavaa ja tuloksien oikeellisuus pyritään varmentamaan dynaamisella tai staattisella koekuormituksella. (RIL 254-2011).

Luvussa jäljempänä esitettyjä menetelmiä on käytetty koekohteiden paalujen geoteknisen puristuskestävyyden laskemisessa. Laskelmat ja tulokset eri menetelmistä, sekä menetelmien vertailu on esitetty luvussa 7.

3.2 Staattinen kantavuuskaava

Suomessa paalun geoteknisen puristuskestävyyden arvioimisessa voidaan käyttää staattisia kantavuuskaavoja. Staattiset kantavuuskaavat ovat yhtälöitä, joilla määritetään paalun geotekninen kestävyys maan lujuusparametreihin perustuen (Heinonen 1998). Paalun geoteknisen puristuskestävyyden arvioimiseen on käytössä myös empiirisiä kairausvastukseen perustuvia menetelmiä.

Staattisia kantavuuskaavoja käytettäessä maan sisäinen leikkauskestävyyskulma paalun vaipalla ja kärkivyöhykkeessä pitää arvioida epäsuorasti kairausvastuksen perusteella, suoraan in-situ -menetelmillä tai laboratoriossa tehtävillä kolmiakσιαalikokeilla (Prakash & Sharma 1989). Suurpaalutusohjeessa (2001) on ohjeistettu, että käytettäessä 40° suurempia leikkauskestävyyskulman arvoja täytyy leikkauskestävyyskulma määrittää kolmiakσιαalikokeilla tai in-situ menetelmillä. Staattinen kantavuuskaava toimii eri tavalla erilaisissa pohjaolosuhteissa ja sen käyttö vaatii kokemusta kaavan toimivuudesta kulloisissakin pohjaolosuhteissa.

Paalun geotekninen kestävyys puristuksessa muodostuu paalun kärki- ja vaippakestävyiden summasta.

$$R_{c;cal} = R_{b;cal} + R_{s;cal}(-W) \quad (3.1)$$

missä

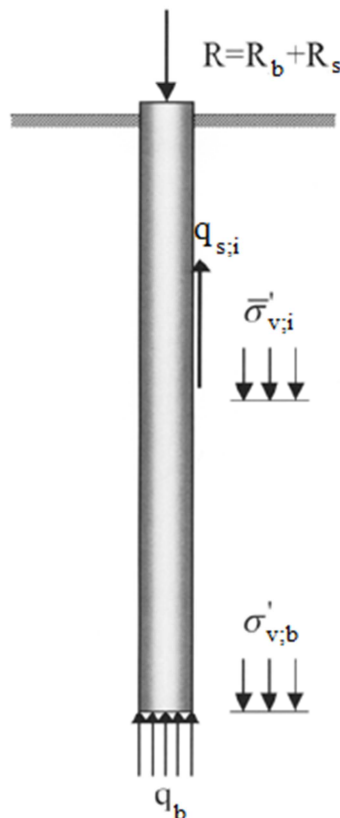
$R_{c;cal}$ = paalun geotekninen puristuskestävyys murtorajatilassa laskettuna pohjatutkimustuloksista

$R_{b;cal}$ = paalun kärjen geotekninen kestävyys laskettuna pohjatutkimustuloksista

$R_{s;cal}$ = paalun vaipan geotekninen kestävyys laskettuna pohjatutkimustuloksista

W = paalun tehokas paino

Paalun tehokas paino on yleensä hyvin pieni verrattuna muihin paalulle tuleviin kuormiin, joten tehokasta painoa ei tästä syystä oteta laskelmissa useinkaan huomioon (RIL 254-2011; Iskander 2010). Staattisia kantavuuskaavoja käytettäessä paalun vaippa- ja kärkikestävyys lasketaan omilla kaavoillaan ja lopuksi tulokset summataan kaavan (3.1) mukaan, jolloin saadaan paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo. Kuvassa 3.1 on esitetty paalun geoteknisen puristuskestävyyden määrittämiseen tarvittavat parametrit.



Kuva 3.1. Paalun geoteknisen puristuskestävyyden määrittämiseen tarvittavat parametrit. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007 s. 55)

Kairausvastuksen perusteella voidaan arvioida likimääräisesti maalajien mekaanisia ominaisuuksia: leikkauskestävyyskulmaa, moduulilukua m ja jännityseksponenttia β . Taulukossa 1 on esitetty puristin-, paino- ja heijarikairavastukselle arvoja eri maalajeissa. Taulukon 1 avulla voidaan arvioida esimerkiksi maalajin leikkauskestävyyskulmaa eri kairausvastuksien perusteella, jolloin saadaan määritettyä karkea arvio vaippa- ja kärkikestävyydelle staattisen kantavuuskaavan avulla.

Taulukko 1. Kairausvastuksen avulla arvioituja maalajien mekaanisia ominaisuuksia (RIL 254-2011).

Maalaji		Puristin- kairaus q_c [MPa]	Paino- kairaus Pk/0,2 m	Heijari- kairaus L/0,2 m	Moduuli- luku m	Jännitys- ekspon- nentti β	Kitka- kulma
Karkea siltti	Löyhä	< 7	< 40	< 8	30–100	0,3	28
	Keskitiivis	7–15	40–100	8–25	70–150	0,3	30
	Tiivis	> 15	> 100	> 25	100–300	0,3	36
Hieno- hiekkä $d_{10} < 0,06$	Löyhä	< 10	20–50	5–15	50–150	0,5	30
	Keskitiivis	10–20	50–100	15–30	100–200	0,5	33
	Tiivis	> 20	> 100	> 30	150–300	0,5	36
Hiekkä $d_{10} > 0,06$	Löyhä	< 6	10–30	5–12	150–300	0,5	32
	Keskitiivis	6–14	30–60	12–25	200–400	0,5	35
	Tiivis	> 14	> 60	> 25	300–600	0,5	38
Sora	Löyhä	< 5,5	10–25	5–10	300–600	0,5	34
	Keskitiivis	5,5–12	25–50	10–20	400–800	0,5	37
	Tiivis	> 12	> 50	> 20	600–1200	0,5	40
Moreeni	Hyvin löyhä	< 10	< 40	< 20	150–600	0,5	...34
	Löyhä	> 10	40–100	20–60	600...	0,5	...36
	Keskitiivis		> 100	60–140	800...	0,5	...38
	Tiivis		Lyömällä	> 140	1200...	0,5	...40

3.2.1 Paalun kärkikestävyys

Paalun kärkikestävyys lasketaan paalun kärkivyöhykkeessä, jonka ajatellaan ulottuvan $5 \cdot D$ (vähintään 1 m) paalun kärjen yläpuolelle ja $3 \cdot D$ (vähintään 1 m) paalun kärjen alapuolelle, jossa D on paalun halkaisija (RIL 254-2011). Paalutusohjeessa (2011) esitetty staattinen kantavuuskaava paalun kärkikestävyydelle on

$$q_b = \sigma'_{v;b} \cdot N_q \quad (3.2)$$

$$R_{b;cal} = A_b \cdot q_b \quad (3.3)$$

missä

q_b = kärkikestävyys

A_b = paalun kärjen pinta-ala

N_q = paalun kärjen kantavuuskerroin

$\sigma'_{v;b}$ = tehokas pystysuora jännitys paalun kärjen tasolla

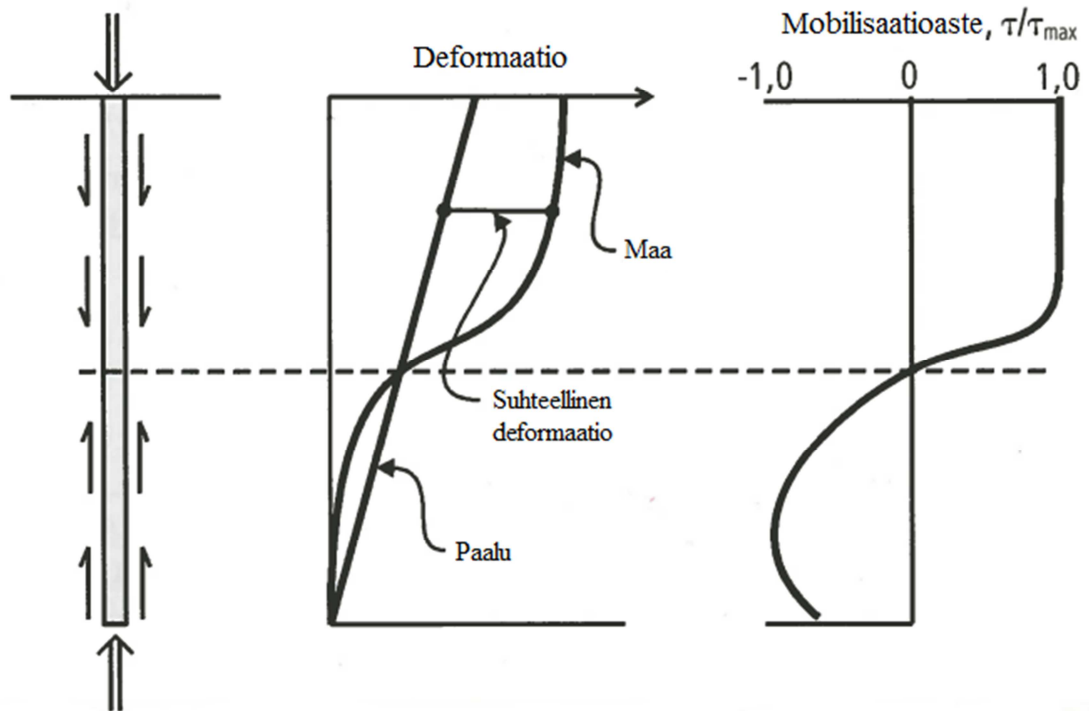
Paalun kärjen tasolla vaikuttava tehokas pystysuora jännitys $\sigma'_{v,b}$ lasketaan siten, että kärjen yläpuolisten maakerrosten tehokas paino huomioidaan kymmentä paalun läpimittaa $10 \cdot D$ vastaavalta paksuudelta (RIL 254-2011). Halkaisijaltaan alle 400 mm paalujen geoteknistä kestävyyttä laskettaessa voidaan tehokas pystysuora jännitys laskea kaikkien yläpuolisten maakerrosten painon perusteella. Kärjen geotekninen murtokestävyys on Paalutusohjeessa (2011) kuitenkin rajattu arvoon 15 MN/m^2 .

Tehokkaan pystysuoran jännityksen rajoittaminen laskennassa perustuu paalujen koe-kuormituksissa havaittuun ilmiöön, jossa paalun kärkekestävyys kasvaa syvyyden funktiona ja lähestyy asympotoottisesti tiettyä raja-arvoa (Heinonen 1998; aikaisemmin Meyerhof 1956, Vesic 1964; Vesic 1965). Ilmiö selitetään sillä, että tehokkaan pystysuoran jännityksen oletetaan kasvavan lineaarisesti syvyyden funktiona ja saavuttaen maksimiarvonsa tietyllä syvyydellä, jota kutsutaan kriittiseksi syvyydeksi. Kärkekestävyyden arvoon vaikuttaa staattisessa kantavuuskaavassa tehokkaan pystysuoran jännityksen lisäksi ainoastaan kantavuuskerroin N_q , joka on pelkästään maakerroksen leikkauskestävyyskulmasta riippuva kerroin.

Kriittisen syvyyden olemassa olosta ja vaihteluvälistä on kuitenkin runsaasti erilaisia näkemyksiä. Meyerhof (1956) tekemien tutkimuksien mukaan kriittinen syvyys leikkauskestävyyskulman arvoilla $28^\circ - 42^\circ$ vaihtelee välillä $11 - 19 \cdot D$, Vesic (1964) tekemien tutkimuksien mukaan kriittinen syvyys samoilla leikkauskestävyyskulman arvoilla vaihtelee välillä $5 - 20 \cdot D$. Tomlinson (1987 s. 111) mukaan teoreettiset analyysit osoittavat, että paalun kärkekestävyys kasvaa kriittisen syvyyden alapuolellakin, mutta kuitenkin vähenevästi.

Selitykset kriittisen syvyyden esiintymiselle perustuvat todennäköisesti paalun negatiiviseen vaippahankaukseen ja paalussa esiintyviin residuaalijännityksiin (Heinonen 1998). Negatiivisen vaippahankauksen ja residuaalijännityksien vaikutukset paaluun ovat samankaltaisia.

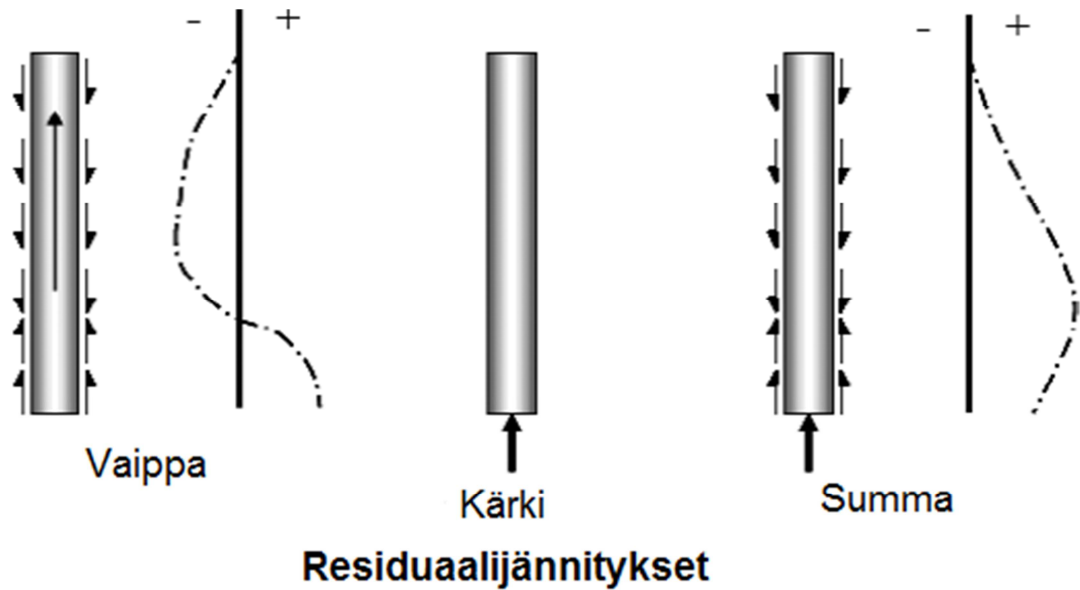
Negatiivinen vaippahankaus syntyy paaluun, kun paalua ympäröivä maa painuu paalua enemmän. Paalutusohjeen (2011) mukaan negatiivisen vaippahankauksen oletetaan vaikuttavan sellaiseen syvyyteen saakka, missä paalua ympäröivän maan painuma on 5 mm suurempi, kuin paalun painuma. Kitkapaalun negatiivinen vaippahankaus on havainnollistettu kuvassa 3.2. Negatiivinen vaippahankaus otetaan huomioon aina paalun kuormana, eikä vähentämällä paalun kestävyyttä (Liikenneviraston ohjeita 35/2013).



Kuva 3.2. Negatiivinen vaippahankaus kitkapaalussa. Perustuu lähteeseen (Peleveiledningen 2012 s. 91)

Toinen kriittisen syvyyden esiintymiseen johtava seikka on paalun upottamisesta paaluun jääneet residuaalijännitykset. Paalua kuormitettaessa paalu painuu kasaan elastisen kokoonpuristuman verran ja kuormituksen poiston jälkeen paalu pyrkii palautumaan alkuperäiseen pituuteensa. Palautumista vastustaa kuvassa 3.3 esitetty negatiivinen vaippavastus, jolloin paaluun syntyy residuaalijännityksiä.

Pitkillä paaluilla esiintyy huomattavasti suurempia residuaalijännityksiä kuin lyhyillä paaluilla, koska vaippavastuksen osuus on niillä suurempi. Myös korkea vaippa- ja kärkivastus edesauttaa suurempien residuaalijännityksien syntymistä. (Axelsson & Baker 2007 s.32 - 33). Residuaalijännityksien seurauksena paalun vaippavastus mobilisoituu osittain, jolloin paalun kärjen kuormitus kasvaa syntyneen residuaalijännityksen verran (Heinonen 1998).

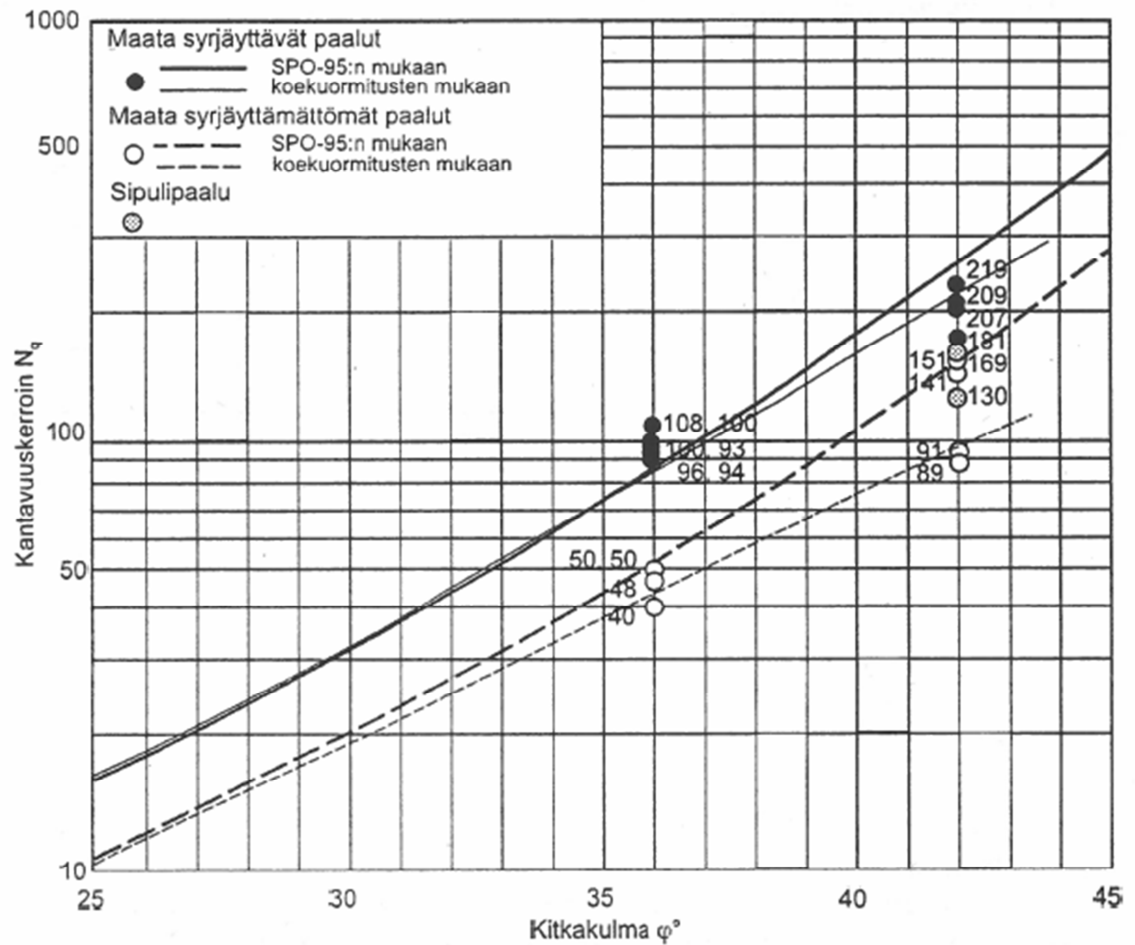


Kuva 3.3. Lyöntipaalun residuaalijännitykset. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007 s. 32)

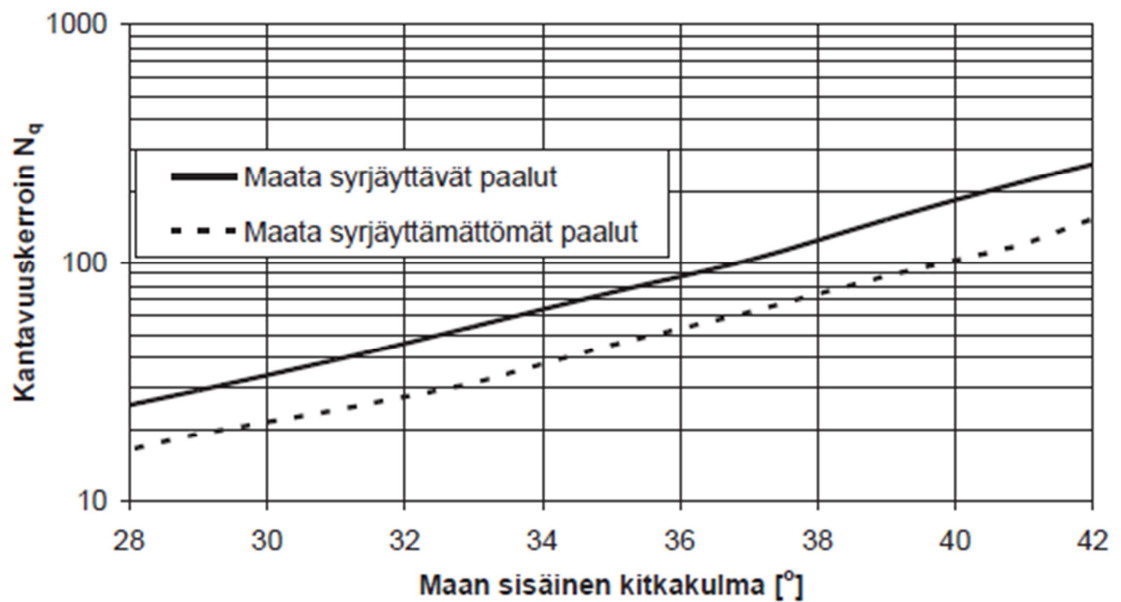
Paalutusohjeessa (2011) esitetty kriittisen syvyyden laskenta-arvo $10 \cdot D$ on sopiva arvio edellä esitettyjen näkemyksien perusteella ja se antaa todennäköisesti paalun kapasiteettia aliarvioivia tuloksia suuremmilla leikkauskestävyyskulman arvoilla. Kriittisen syvyyden käyttäminen pieniläpimittaisilla paaluilla johtaisi todennäköisesti murtokuorman aliarvioimiseen, jonka vuoksi Paalutusohjeessa on tehty poikkeus halkaisijaltaan alle 400 mm paaluille.

Kaavassa (3.2) esiintyvä paalun kärjen kantavuuskerroin N_q perustuu Berezanzevin (1965) kantavuusteoriaan. Poulos & Davis (1980) muokkasivat teoriaa siten, että se ei ole syvyyssuhteesta riippuvainen. Poulos & Davis (1980) esittivät kantavuuskertoimen vain maata syrjäyttävälle paaluille, mutta myöhemmin myös maata syrjäyttämättömien paalujen kantavuuskerrointa on arvioitu laboratoriokoekuormitusten perusteella.

Kuvassa 3.4 on esitetty Heinosen (1998) laboratorio-olosuhteissa tehtyjen staattisten koekuormitusten ja maan lujuusparametrien avulla määrittämien kantavuuskertoimien arvot. Saatujen tulosten perusteella Suurpaalutusohjeessa (1995) esitettyjä kantavuuskertoimen käyriä ei kuitenkaan muutettu, koska koekuormitusaineisto oli suppea. Kuvassa 3.5 on nykyisessä Paalutusohjeessa (2011) esitetty kantavuuskerroin N_q maan sisäisen leikkauskestävyyskulman funktiona.



Kuva 3.4. Koekuormituksien perusteella korjattu kantavuuskerroin ja SPO-95 esitetty kantavuuskerroin kitkakulman funktiona (Heinonen 1998).



Kuva 3.5. Kantavuuskerroin maan sisäisen leikkauskestävyyskulman funktiona (RIL 254-2011).

Maata syrjäyttävien paalujen asennus karkearakeisiin maihin aiheuttaa yleensä maan tiivistymistä paalun kärjen alapuolella (Poulos & Davis 1980). Tiivistymisen seurauksena maan sisäinen leikkauskestävyyskulma kasvaa, jolloin myös paalun kärkikestävyys paranee. Paalun maata tiivistävä vaikutus on riippuvainen paalun nettotilavuudesta ja ympäröivän maan huokostilavuudesta (Heinonen 1998). Kärkikestävyydelle esitettyssä staattisessa kantavuuskaavassa (3.2) ei oteta huomioon maan tiivistymistä paalun kärjen alla, jolloin kaava antaa kärkikestävyyttä aliarvioivia tuloksia. Esitettyä kaavaa (3.2) ei siten suositella käytettäväksi tukipaalujen mitoituksessa (RIL 254-2011).

3.2.2 Paalun vaippakestävyys

Vaippakestävyys paalulle lasketaan Paalutusohjeen (2011) mukaan kaavoilla

$$q_{s;i,k} = \sigma'_{v,i} \cdot K_s \tan \varphi_a \quad (3.4)$$

$$R_{s;k} = \sum A_{s;i} \cdot q_{s;i,k} \quad (3.5)$$

missä

$q_{s;i,k}$ = vaippakestävyyden ominaisarvo maakerroksessa i

$A_{s;i}$ = paalun vaipan pinta-ala maakerroksessa i

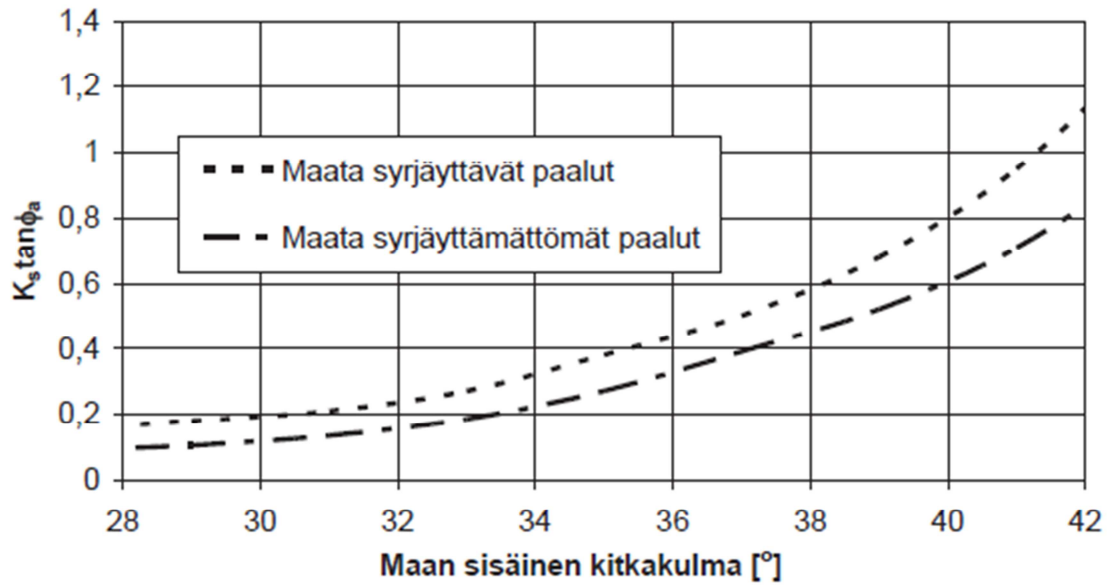
$R_{s;k}$ = paalun vaipan geoteknisen kestävyysarvo

$K_s \tan \varphi_a$ = paalutyypistä ja maan sisäisestä leikkauskestävyyskulmasta riippuva vaippakestävyyskerroin

$\sigma'_{v,i}$ = tehokas pystysuora jännitys paalun vaipalla maakerroksessa i

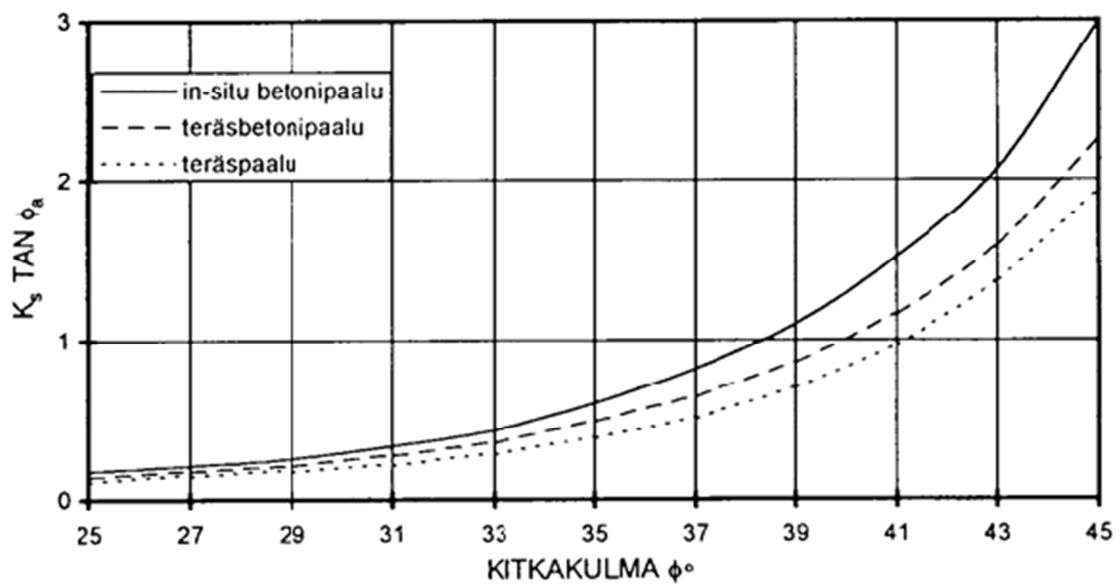
Vaippakestävyys on usein järkevää laskea paalulle maakerroksittain ja lopuksi summata yhteen kaavan (3.5) mukaan, koska harvoissa kohteissa on täysin homogeenisiä pohjaolosuhteita koko paalun upotussyvyydellä. Paalun vaipalla vaikuttavaa tehokasta pystysuoraa jännitystä $\sigma'_{v,i}$ laskettaessa otetaan yläpuolisten maakerrosten paino huomioon enintään 10·D paksuudelta tarkastelukohdan yläpuolella. Kaikkien yläpuolisten maakerrosten paino otetaan huomioon, kun lasketaan vaipalla vaikuttavaa tehokasta jännitystä halkaisijaltaan alle 400 mm paaluille.

Vaippakestävyyskerroin $K_s \tan \varphi_a$ määritetään kuvasta 3.6 sen mukaan, onko paalu maata syrjäyttävä vai maata syrjäyttämätön. Injektoiduilla paaluilla vaippakestävyyskertoimet ovat suurempia kuin kuvan 3.6 arvot. Injektoiduille paaluille vaippakestävyyskertoimet on esitetty Paalutusohjeessa (2011).

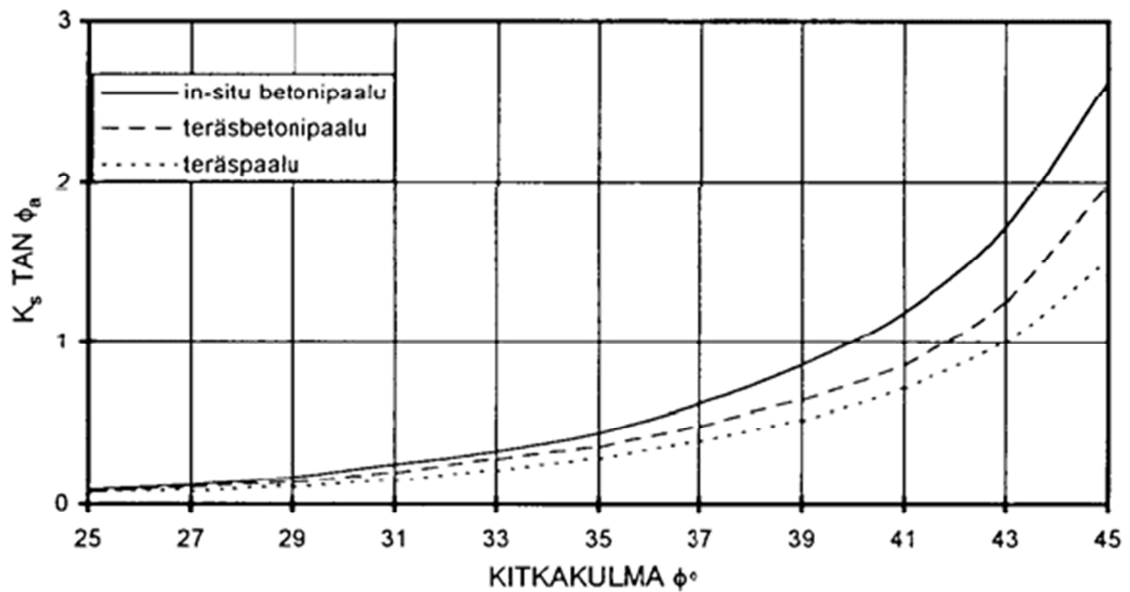


Kuva 3.6. Vaippakestävyyskerroin $K_s \tan \phi_a$ maan sisäisen leikkauskestävyyskulman funktiona. (RIL 254-2011)

Suurpaalutusohjeessa (2001) on esitetty kuvien 3.7 ja 3.8 mukaiset kuvaajat vaippakestävyysarvioimiseksi. Kuvassa 3.7 on esitetty arvot maata syrjäyttävälle paaluille ja kuvassa 3.8 on esitetty arvot maata syrjäyttämättömille paaluille.



Kuva 3.7. Vaippakestävyyskerroimen $K_s \tan \phi_a$ arvot maata syrjäyttävälle paaluille (RIL 212-2001)



Kuva 3.8. Vaippakestävyyskerroimen $K_s \tan \phi_a$ arvot maata syrjäyttämättömille paaluille (RIL 212-2001)

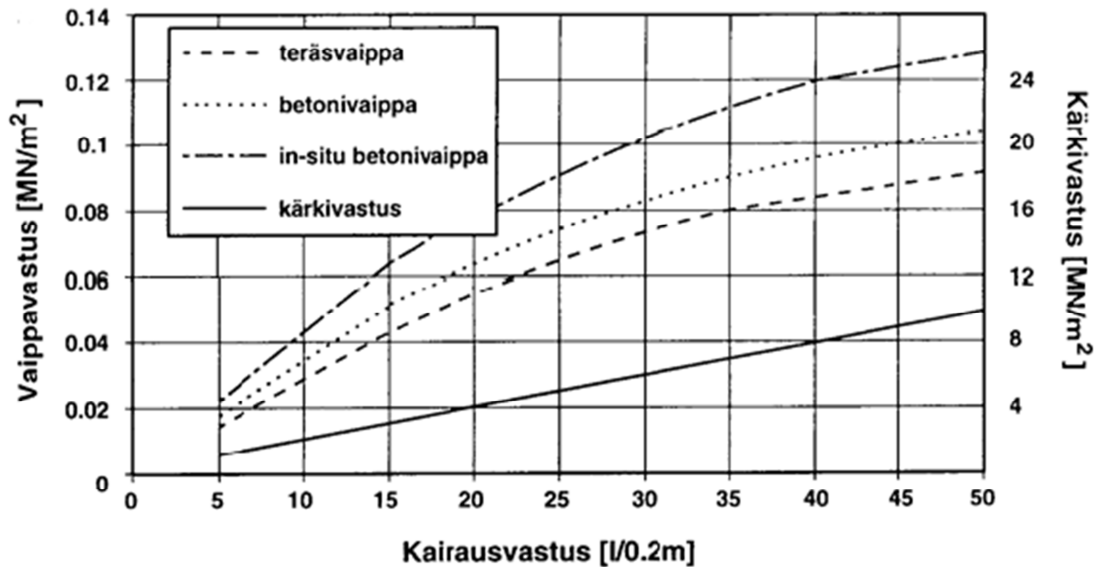
Kuvissa 3.7 ja 3.8 vaippakestävyyskerroimen määrittämiseen on annettu omat käyrät in-situ betonipaalulle, teräsbetonipaalulle ja teräspaalulle. Käyrät perustuvat vaippamateriaalin ja maapartikkelien väliseen kitkaan, jonka seurauksena vaippakestävyyskerroin on materiaaliriippuvainen. Pinnan karkeuden vaikutusta vaippakestävyyskerroin on käsitelty tarkemmin luvussa 4.

3.3 Paalun geotekninen kestävyys heijarikairausvastuksen perusteella

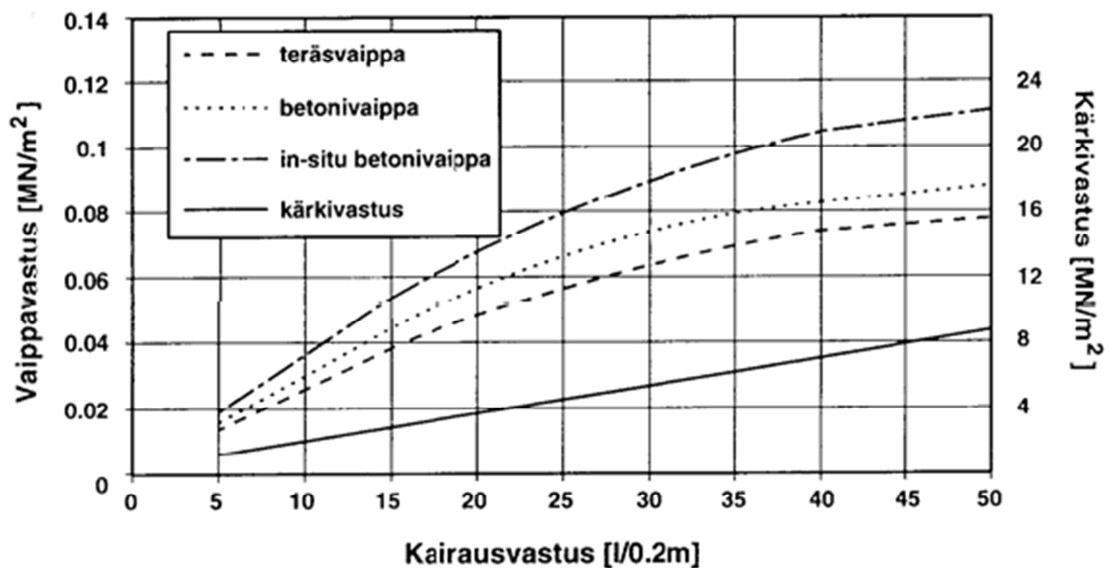
Suurpaalutusohjeessa (2001) on esitetty menetelmä, jossa heijarikairausvastuksen avulla voidaan arvioida paalun geoteknistä kestävyyttä. Menetelmässä paalun kärkivastus määritetään paalun kärkivyöhykkeen keskimääräisen heijarikairausvastuksen perusteella kuvasta 3.9 tai 3.10. Kärkivyöhyke on määritelty samalla tavalla kuin kaavassa (3.2). Lopuksi paalun kärkikestävyys saadaan kaavan (3.3) avulla, kun tiedossa on kärkivastus ja paalun kärjen pinta-ala.

Vaippavastus paalulle lasketaan jakamalla paalun vaippa yhtenäisiin kairausvastusvyöhykkeisiin, joille määritetään vaippavastuksen arvo kuvasta 3.9 tai 3.10. Vaippakestävyys saadaan kaavalla (3.5), kun vyöhykkeiden vaippavastusarvot ja paalun vaipan pinta-ala vyöhykkeissä tiedetään.

Hienorakeisissa maakerroksissa paalun vaippavastus arvioidaan paalun ja maan välisen adheesion perusteella. Karkearakeisille maakerroksille, jotka sijaitsevat hienorakeisen maakerroksen yläpuolella ei saa laskea vaippakestävyyttä negatiivisen vaippahankauksen takia (RIL 254-2011). Hienorakeisen maakerroksen painuessa syntyy paalulle negatiivista vaippahankausta, jolloin paaluun kohdistuva kuormitus kasvaa.



Kuva 3.9. Vaippa- ja kärkivastuksen arviointi heijarikairavastuksen avulla maata syrjäyttävillä paaluille (RIL 212-2001)



Kuva 3.10. Vaippa- ja kärkivastuksen arviointi heijarikairavastuksen avulla maata syrjäyttämättömille paaluille (RIL 212-2001)

Kuvien 3.9 ja 3.10 kuvaajien perusteella on määritetty laskentafunktiot, joiden avulla vaippavastuksen arvoja voidaan laskea. Heijarikairavastus tiiviille maakerrokselle on ajateltu olevan 100 lyöntiä/0,2 m ja löyhälle maalle 10 lyöntiä/0,2 m. Kuvaajat ulottuvat vain 50 lyöntiin/0,2 m, mutta käyriä voidaan approksimoida lineaarisesti, jolloin voidaan arvioida suurempia kairausvastusarvoja. Heinonen (1998) on esittänyt kärkivastuksen laskentakaavaksi

Maata syrjäyttävälle paaluille

$$q_{b;k} = 0,2 \cdot N_{20} \quad (3.6)$$

ja maata syrjäyttämättömille paaluille

$$q_{b;k} = 0,18 \cdot N_{20} \quad (3.7)$$

missä

$q_{b;k}$ = kärkikestävyys ominaisarvo

N_{20} = heijarikairavastus kärkivyöhykkeessä

Maata syrjäyttämättömille paaluille on tehty kärkivastukseen maltillinen vähennys, jolloin voidaan ottaa huomioon maata syrjäyttävän paalun asennuksen aiheuttama maan tiivistyminen ja maan sisäisen leikkauskestävyyskulman kasvu. Vaippavastuksen sovittefunktio on molemmille sekä maata syrjäyttävälle että maata syrjäyttämättömille paaluille (Holopainen & Länsivaara 2006)

$$q_{s;i;k} = \frac{\sin\left(\left(1 - \frac{N_{20}}{300}\right) \cdot N_{20}\right) \cdot \cos\left(\left(1 - \frac{N_{20}}{300}\right) \cdot N_{20}\right)}{4,85} \quad (3.8)$$

missä

$q_{s;i;k}$ = paalun vaippavastuksen ominaisarvo vyöhykkeessä i

N_{20} = heijarikairavastus vyöhykkeessä i

Kaava (3.8) toimii heijarikairausvastuksen ollessa 5–55 l/0,2 m. Suuremmilla heijarikairausvastuksen arvoilla voidaan kuvien 3.9 ja 3.10 diagrammeja approksimoida lineaarisesti vastaamaan suurempia kairausvastusarvoja. Kaavan (3.8) antamat tulokset kerrotaan paalun vaippamateriaalista riippuvalla kertoimella, jolloin saadaan paalumateriaalin huomioiva arvo vaippavastukselle. Teräsbetonilla kerroin on 1, teräksellä 0,9 ja in situ betonilla 1,25. Kertoimet perustuvat vaippapinnan ja maapartikkelien väliseen kitkaan, jota käsitellään tarkemmin kappaleessa 4.

3.4 Paalun geotekninen kestävyys puristinkairausvastuksen perusteella

Puristinkairauksen, tai toiselta nimeltään CPT-kairauksen (CPT, Cone Penetration Test), kairausvastuksen avulla voidaan arvioida paalun geoteknistä kestävyyttä muun muassa Bustamanten & Giancesellin (1982) kehittämällä LCPC-menetelmällä. Laskennassa voidaan käyttää myös esimerkiksi SFS-EN 1997-2 liitteessä D esitettyä menetelmää. LCPC-menetelmässä paalun geoteknisen kestävyys ominaisarvo lasketaan kaavalla

$$R_k = q_{c;b} k_c A_b + \sum \left(\frac{q_{c;i}}{\alpha_i} A_{s;i} \right) \quad (3.9)$$

missä

$q_{c;b}$ = kairausvastuksen keskiarvo kärkivyöhykkeessä

$q_{c;i}$ = paalun kärkivastus kerroksessa i

k_c = kärkivastuksen korjauskerroin

α_i = vaippavastuksen korjauskerroin kerroksessa i

Arvo $q_{c;b}$ määritetään seuraavien vaiheiden mukaan:

1. CPT-kairausvastuskuvaajaa muokataan tasoittamalla kuvaajassa esiintyvät voimakkaat piikit
2. Kairausvastuksen keskiarvo kärkivyöhykkeessä, $q_{c;b}$, lasketaan tasoitetulta kuvaajalta välillä, joka ulottuu 1,5·D etäisyydelle paalun kärjen ylä- ja alapuolelle.
3. Arvoja, jotka ovat 1,3 kertaa suurempia kuin keskiarvo, ei huomioida keskiarvon laskennassa paalun kärjen ylä- ja alapuolella. Myöskään arvoja, jotka ovat pienempiä kuin 0,7 kertaa keskiarvo, ei huomioida keskiarvon laskennassa paalun kärjen alapuolella.

Kärkivastuksen korjauskertoimet valitaan taulukosta 2. Korjauskertoimen arvo riippuu kairausvastuksesta, maalajista, suhteellisesta tiiviydestä ja paalun asennustavasta. Taulukossa 2 on esitetty vaippavastuksen maksimi-arvot ja kärkivastuksen korjauskertoimet eri kairausvastuksen arvoille lyömällä asennetuille paaluille.

Taulukko 2. Korjauskertoimet ja vaippavastuksen maksimi-arvot lyömällä asennetuille teräsbetoni- ja teräspaaluille. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007).

Maalaji ja suhteellinen tiivys	q_c [Mpa]	Korjauskerroin k_c	Maksimi-arvo [kPa]
			q_s Lyömällä asennetut paalut
Silttinen hiekka / löyhä hiekka	< 5	0,5	35
Keskitiivis hiekka / sora	5-12	0,5	80
Tiivis hiekka / sora	> 12	0,4	120

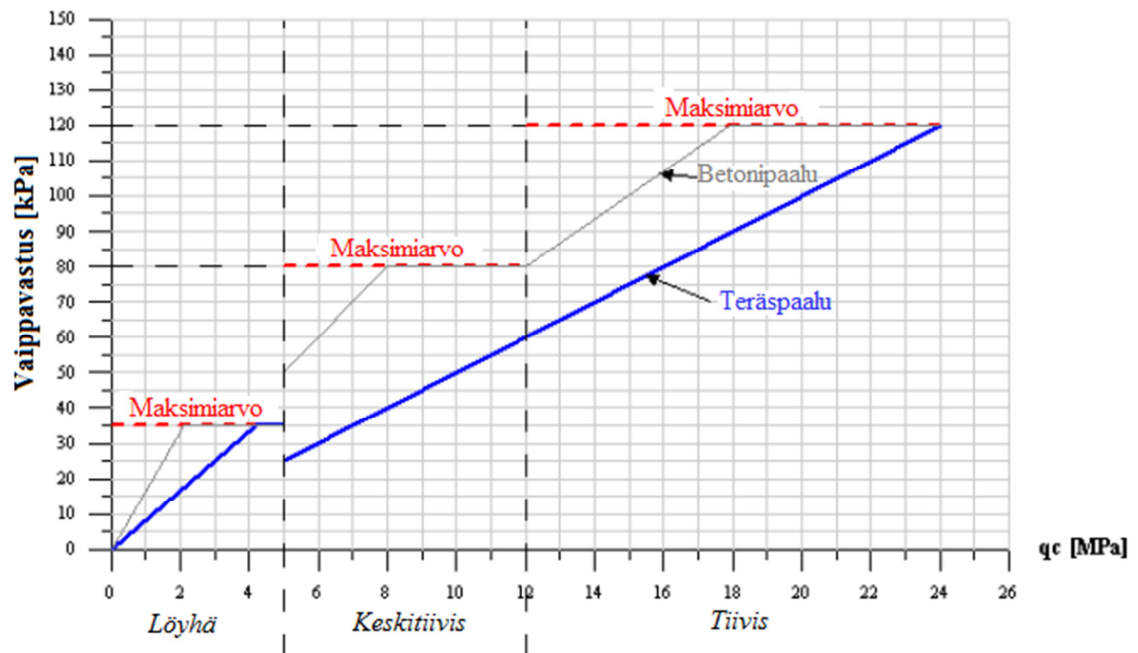
Paalun vaippavastus kerroksessa i lasketaan kärkivastuksen arvosta vastaavassa kerroksessa jakamalla se korjauskertoimella α ja kertomalla paalun vaipan pinta-alalla kerroksessa i. Taulukossa 3 on esitetty korjauskertoimen α arvoja ja vaippavastuksen maksimi-arvoja eri kairausvastuksille.

Taulukko 3. Vaippavastuksen maksimiärvot ja kertoimen α arvoja. Perustuu lähteeseen (Bustamante & Gianselli 1982).

Maalaji	q_c (MPa)	Kerroin α	q_s :n maksimiärho (MPa)
Lieju			
Pehmeä savi	<1	30	0,015
			(0,08)
Kohtalaisen tiivis savi	1-5	40	0,035
Siltti			
Löyhä hiekka	≤ 5	60	0,035
Tiivis ja jäykkä savi			(0,08)
Tiivis siltti	>5	60	0,035
Kohtalaisen tiivis hiekka			(0,12)
Kohtalaisen tiivis sora	5-12	100	0,08
Tiivis ja hyvin tiivis hiekka			(0,15)
Tiivis ja hyvin tiivis sora	>12	150	0,12

Suluissa esitetty vaippavastuksen maksimiärho vastaa tilannetta, jossa paalun asennus häiritsee maata mahdollisimman vähän. Ilman sulkua esitetty arvo vastaa normaaleja menetelmiä, jossa erityistä varovaisuutta ei noudateta (Rantala & Hakola 1997). Taulukossa 3 vaippavastuksen maksimiärvoksi on annettu 120 kPa ja mahdollisimman vähän maata häiritsevillä menetelmillä 150 kPa.

Ruotsalaisessa raportissa vaippavastuksen korjauskertoimelle α on esitetty eri arvot betonipaaluille ja teräspaaluille (Axelsson & Baker 2007). Betonipaalu saa suurempia vaippavastuksen arvoja kuin teräspaalu. Vaippavastuksien ero johtuu paalumateriaalin ja maan välisestä kitkasta, joka on suurempi betonipaaluilla. Kuvassa 3.11 on esitetty ruotsalainen kuvaaja betoni- ja teräspaalun vaippavastuksista CPT-kairausvastuksen perusteella.

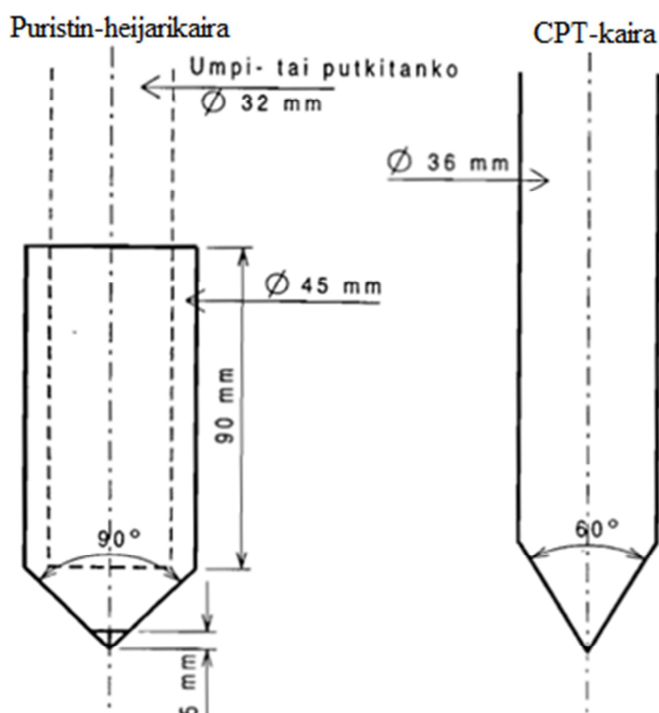


Kuva 3.11. Vaippavastus CPT-kairausvastuksen perusteella. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007).

3.5 Paalun geotekninen kestävyys puristin-heijarikairausvastuksen perusteella

Rantala & Hakola (1997) kehittämällä menetelmällä voidaan arvioida paalun geoteknistä kestävyyttä puristin-heijarikairausvastuksen perusteella. Menetelmä soveltuu kitka-paalujen käyttömahdollisuuksien ja paalupituuksien arvioimiseen.

Menetelmässä puristin-heijarikairavastus muutetaan vastaamaan CPT-kairauksen kärkivastusta. Kestävyyslaskelmia varten määritetään ensin nettoarvot puristin-heijarikairauksista, jotka muutetaan suhdelukujen avulla vastaamaan CPT-kärkivastusta (Rantala & Hakola 1997). Suhdelukuja täytyy käyttää, koska puristin-heijarikairan kärkiosan mitat ja muoto ovat erilaiset kuin CPT-kairan kärkiosalla. Kuvassa 3.12 on esitetty puristin-heijarikairan ja CPT-kairan kärkiosat.



Kuva 3.12. CPT-kairan ja puristin-heijarikairan kärkiosa (Rantala & Hakola 1997).

CPT-kärkivastusta vastaava arvo saadaan puristin-heijarikairauksen puristusvaiheen nettokärkivastuksesta kertomalla kertoimella 1,07 ja heijarikairausvaiheen nettolyöntiluvusta kertomalla kertoimella 0,80 tai 0,83 (Rantala & Hakola 1997). Kertoimia pienentämällä voidaan ottaa huomioon epävarmuuksia. Rantala & Hakola (1997) tutkimuksessa menetelmän on osoitettu vastaavan hyvin paalujen mitattuja geoteknisiä kestävyysarvoja.

3.6 Eurokoodin käyttö

Paalujen mitoitus Suomessa tapahtuu yleensä mitoitusmenetelmän DA2* (Design Approach 2*) mukaan. Paaluille tulevat kuormitukset lasketaan SFS-EN 1990:2002 NA 2010 mukaan. Mitoitusmenetelmässä DA2* laskelmat tehdään ominaisarvoilla ja osavarmuuslukuja käytetään vasta murtorajatilaehto tarkisteltaessa laskelman lopussa (SFS-EN 1997-1 NA 2010). Eurokoodin mukaan paalun geotekninen puristuskestävyys pohjatutkimustulosten perusteella voidaan määrittää kahdella vaihtoehtoisella tavalla: mallipaalumenetelmällä tai vaihtoehtoisella menetelmällä.

Suomen kansallisessa liitteessä (SFS-EN 1997-1 NA 2010) on asetettu paalujen kestävyysarvojen osavarmuusluvut taulukon 4 mukaiset arvot. Osavarmuusluvut ovat samoja maata syrjäyttävälle ja maata syrjäyttämättömille paaluille.

Taulukko 4. *Paalujen kestävyys osavarmuusluvut (SFS-EN 1997-1 NA 2010)*

<u>Kestävyys</u>	<u>Merkintä</u>	<u>Sarja R2</u>
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_t	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Paalujen kestävyys mitoitusarvot määritetään jakamalla ominaisarvot taulukon 4 mukaisilla kestävyys osavarmuusluvuilla seuraavasti

$$R_{c;d} = R_{b;k}/\gamma_b + R_{s;k}/\gamma_s \quad (3.9)$$

missä

$R_{b;k}$ = paalun kärjen geoteknisen kestävyys ominaisarvo

$R_{c;d}$ = paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo

γ_b = paalun kärjikestävyys osavarmuusluku

γ_s = paalun vaippakestävyys osavarmuusluku puristuksessa

3.6.1 Mallipaalumenetelmä (RIL 254-2011)

Mallipaalumenetelmässä jokaisessa pohjatutkimuspisteessä lasketaan mallipaalun geotekninen puristuskestävyys. Menetelmässä paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo määritetään korrelaatiokertoimien avulla pohjatutkimustuloksista lasketusta $R_{c;cal}$ arvosta. Korrelaatiokertoimet valitaan pohjatutkimusprofiilien määrän mukaan taulukosta 5. Korrelaatiokertoimet on määritetty erikseen lasketulle minimi- ja keskiarvolle. Suunnittelualueelle ominaisarvoksi valitaan kaavan (3.10) mukaisesti pienempi saaduista arvoista

$$R_{c;k} = (R_{b;k} + R_{s;k}) = \frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\xi} = \frac{R_{c;cal}}{\xi} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{mean}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\} \quad (3.10)$$

missä

ξ_3 = korrelaatiokerroin paalun kestävyys määrittämiseen pohjatutkimustuloksista lasketulle keskiarvolle

ξ_4 = korrelaatiokerroin paalun kestävyys määrittämiseen pohjatutkimustuloksista lasketulle minimiarvolle

Taulukko 5. Korrelaatiokertoimet ξ_3 ja ξ_4 pohjatutkimusprofiilien määrän mukaisesti (SFS-EN 1997-1 NA 2010)

ξ kun $n =$	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
ξ_4	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

Taulukossa 5 esiintyvä n on suunnittelualueen pohjatutkimusprofiilien lukumäärä. Suunnittelualueeksi katsotaan alue, jolla on suunnilleen samantyyppiset pohjaolosuhteet ja paalupituudet. Suunnittelualueen rajaaminen voi olla hankalaa, kun pohjaolosuhteet ja paalupituudet vaihtelevat merkittävästi (Slunga 2010).

Korrelaatiokertoimet ξ_3 ja ξ_4 voidaan jakaa kertoimella 1,1, jos paalut liittyvät rakenteeseen, jolla on riittävä jäykkyys ja lujuus siirtämään kuormia heikoilta paaluilta vahvoille paaluille (Liikenneviraston ohjeita 35/2013 s. 53).

3.6.2 Vaihtoehtoinen menetelmä (RIL 254-2011)

Vaihtoehtoisessa menetelmässä suunnittelualue käsitellään yhtenäisenä alueena, jolle arvioidaan paalun kärki- ja vaippakestävyys ominaisarvot. Vaihtoehtoisessa menetelmässä taulukon 4 osavarmuuslukuja korjataan mallikertoimella. Kaavoilla (3.3) ja (3.5) saadut arvot jaetaan valitun mallikertoimen avulla korjatulla osavarmuusluvulla kaavan (3.11) mukaisesti, jolloin saadaan paalulle geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo. Taulukossa 6 on esitetty mallikertoimien vähimmäisarvot koheesio- ja kitka-paaluille.

Taulukko 6. Mallikertoimen arvot

	Mallikerroin
Tuki- ja kitkapaalut	$\geq 1,60$
Koheesiopaalu	
pitkäaikainen kuormitus	$\geq 1,95$
lyhytaikainen kuormitus	$\geq 1,40$

$$R_{c;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b * \text{mallikerroin}} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s * \text{mallikerroin}} \quad (3.11)$$

Mallikertoimia valittaessa on otettava huomioon systemaattiset virheet, jotka liittyvät ominaisarvojen laskentamenetelmään. Laskentamenetelmät sisältävät runsaasti epävarmuutta ja yksinkertaistuksia, jotka on otettava myös huomioon mallikerrointa valittaessa. Verrattaessa vaihtoehtoisen menetelmän mallikertoimia mallipaalumenetelmän korrelaatiokertoimiin, huomataan että, mallikertoimien vähimmäisarvot ovat verrattain pieniä. Kertoimien valinta vaatiikin menetelmän käyttäjältä ajatusta ja harkintaa.

4. AIKATEKIJÄ

4.1 Tausta

Ilmiötä, jossa paalun geotekninen kestävyys kasvaa ajan kuluessa, kutsutaan nimellä setup. Setup-ilmiö voidaan jakaa lyhyen ja pitkän ajan kuluessa tapahtuvaan kestävyyskasvuun.

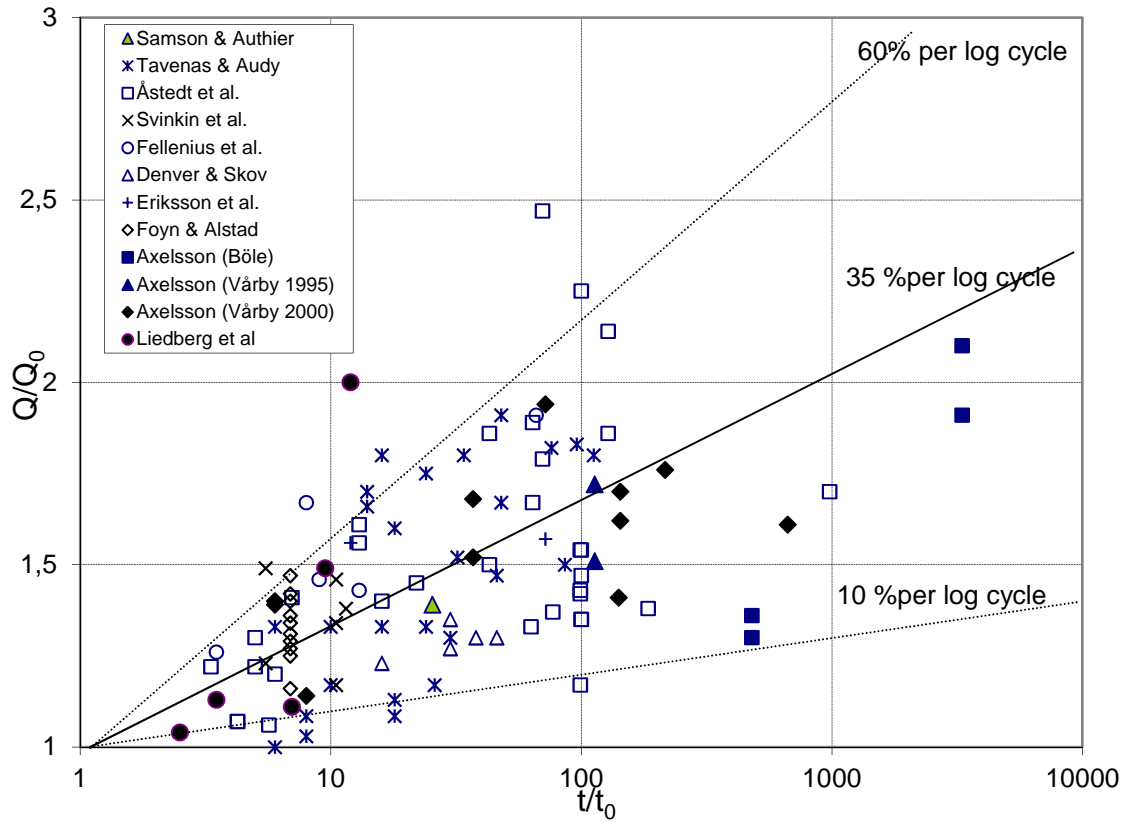
Kappaleessa käsitellään mekanismeja setup-ilmiön taustalla ja ilmiön suuruuteen vaikuttavia tekijöitä. Geoteknisen kestävyyskasvun laskentakaavoja ja -menetelmiä on esitelty kappaleen lopussa. Laskentakaavoja on käytetty esimerkinomaisesti koekohteen paaluille. Tuloksien perusteella on arvioitu kaavojen käyttökelpoisuutta koekohteen olosuhteissa. Laskelmat ja tulokset on esitetty kappaleessa 7.

Lyhyen ajan kuluessa tapahtuva geoteknisen kestävyyskasvu johtuu paalujen asennuksesta syntyvän huokosveden ylipaineen purkautumisesta, jonka seurauksena maan lujuus kasvaa/palautuu. Tämän oletetaan tapahtuvan karkearakeisissa maissa 24 tunnin aikana, yleensä kuitenkin muutamien minuuttien tai tuntien kuluttua yksittäisen paalun asennuksesta (Axelsson 2000). Useampien lähekkäin asennettujen paalujen asennus voi pitkittää huokosveden ylipaineen purkautumista. Pitkänajan kestävyyskasvu laskeutuu alkavaksi siitä, kun huokosveden ylipaine on purkautunut.

Karkearakeisissa maissa pitkän ajan kuluessa tapahtuva geoteknisen kestävyyskasvu tapahtuu yleensä 1- 90 päivän aikana, mutta joissakin tapauksissa kasvua on osoitettu tapahtuvan vielä pidempäänkin, jopa vuosia (Axelsson & Baker 2007; Åstedt et al. 1994). Koheesiomaissa geoteknisen kestävyyskasvu voi jatkua vuosia paalun asennuksen jälkeen (Karlsrud 2012). Tässä työssä keskitytään karkearakeisissa maissa (kitkamaissa) esiintyvään setup-ilmiöön.

Axelsson & Baker (2007) esitti tietokannan kirjallisuudessa esitetyistä kitkapaalujen koekuormitustuloksista. Tietokantaan valittiin koekuormituksia, joissa geotekninen kestävyys oli määritetty eri ajanhetkillä paalun asennuksesta. Tietokannan paalujen geoteknisen kestävyyskasvu on esitetty kuvassa 4.1. Tietokantaan valittiin vain sellaiset koekuormitukset, joissa alkukantavuus Q_0 on määritetty huokosveden ylipaineen purkaututtua. Alkukantavuus Q_0 mitattiin 12 h – 4 vuorokautta paalun upotuksen jälkeen. Tietokanta koostuu 197 staattisesta tai dynaamisesta koekuormituksesta, jotka suoritettiin 78 paalulle 18 eri kohteessa. Tietokannan tarkoituksena on havainnollistaa kitkapaalujen pitkän ajan setup-ilmiön suuruutta. Tietokannan paaluille tehdyissä koekuormituk-

sisä oli kuitenkin eroavaisuuksia: paalujen staattinen kantavuus on määritetty eri metodeilla ja kaikissa koekuormituksissa paalun kapasiteettia ei ollut täysin mobilisoitu.



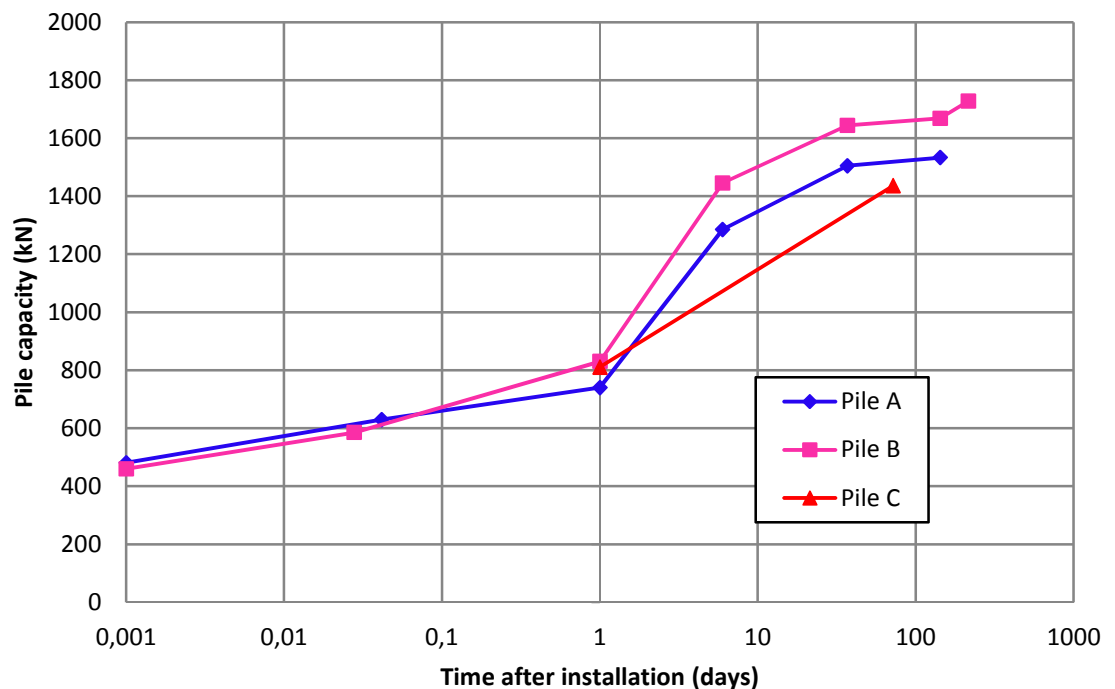
Kuva 4.1. Kitkapaalujen geoteknisen puristuskestävyyden kasvu ajan kuluessa (Axelsson & Baker 2007).

Kuvan 4.1 mukaan esimerkiksi Liedberg et al. tekemissä koekuormituksissa yhden paalun geotekninen kestävyys kaksinkertaistui aikavälillä 2–24 vuorokautta ($Q/Q_0 = 2$ ja $t/t_0 = 12$). Kuvan 4.1 mukaan Åstedt et al. tekemissä koekuormituksissa yhden paalun geotekninen kestävyys kasvoi 1,7-kertaiseksi aikavälillä 1–979 vuorokautta ($Q/Q_0 = 1,7$ ja $t/t_0 = 979$).

Axelssonin (2000) mukaan pitkänajan setup-ilmiö vaikuttaa lähinnä paalun vaippakestävyys. Kuvan 4.1 tuloksia esittäessä paalun geoteknisen kestävyysjakautumista vaipan ja kärjen välillä ei voitu kuitenkaan luotettavasti määrittää, joten kuvassa on esitetty kokonaiskestävyys. Vaippakestävyyskasvu olisi todennäköisesti ollut lähes kaikissa tapauksissa suurempi kuin kokonaiskestävyyden kasvu (Axelsson 2000).

Axelsson (2000) tutki myös kolmen 235 x 235 mm betonipaalun geoteknisen kestävyyskasvua. Paalut upotettiin 19 m syvyyteen silttiseen hiekkaan/hiekkaan, jonka suhteellisen tiivyyden arvioitiin olevan välillä 35–50 %. Koekohteella pohjaveden pinta sijaitsi noin 2 m syvyydessä maan pinnasta. Upotuksen päätteeksi (EOD, end of driving) paaluille tehtiin dynaaminen koekuormitus ja paalun geoteknisen kestävyys

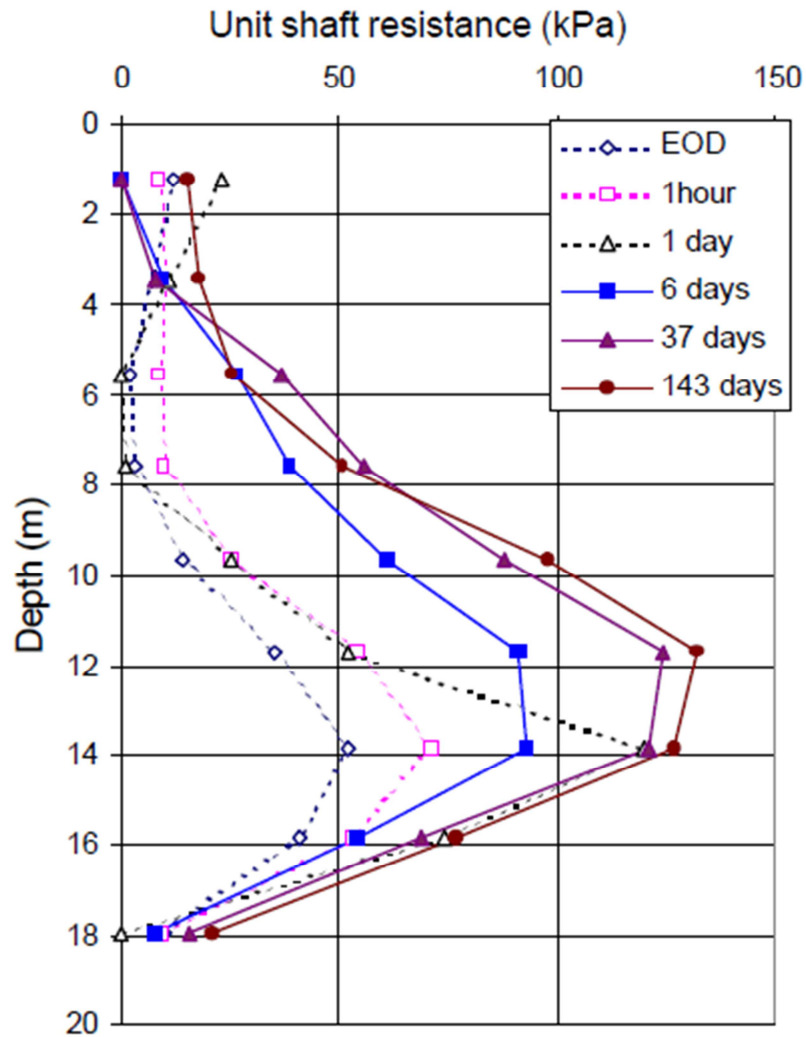
kasvua seurattiin uusituilla koekuormituksilla, joista viimeisin suoritettiin 216 päivän kuluttua paalun upotuksesta. Kuvassa 4.2 on esitetty kuvaaja kestävyiden kasvusta.



Kuva 4.2. Paalujen geoteknisen puristuskestävyyden kasvaminen (Axelsson 2000).

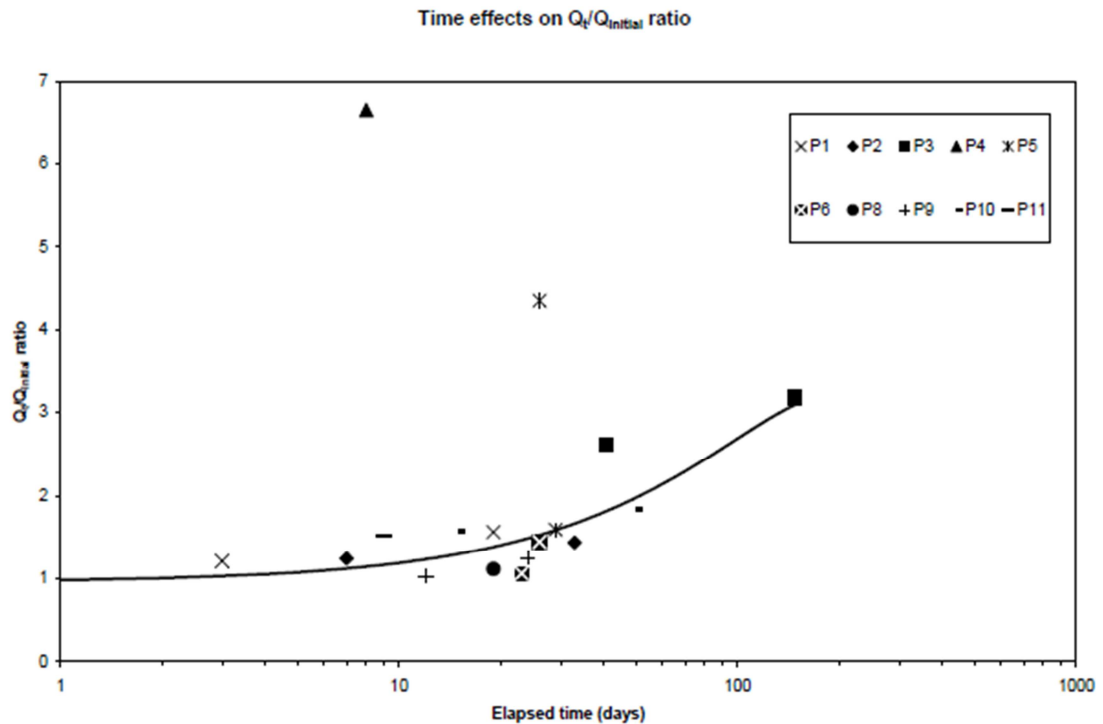
Kuvan 4.2 paalujen kestävydet on määritetty dynaamisilla koekuormituksilla CASE-menetelmällä. Paaluilla A ja B on havaittavissa kasvun hiipumista noin kuukauden jälkeen. Axelssonin (2000) mukaan tämä on selitettävissä sillä, että paaluille A ja B tehtiin dynaamisia koekuormituksia 37 päivän jälkeen, jonka seurauksena vaipalla vaikuttavat jännitykset laskivat ja tämä häiritsi kestävyiden kasvua. Paalulla C ei taas tehty vastaavia koekuormituksia ja paalulla C ei ole nähtävissä samankaltaista kestävyiden kasvun hiipumista. Koekuormituksissa ilmeni, että esimerkiksi paalulla A 37 päivän mittauksissa ensimmäisellä koekuormitusiskulla geotekninen kestävyys oli 1505 kN ja kolmannelle iskulle kestävyys oli laskenut jo 900 kN.

Betonipaalujen vaippakestävyiden kasvu tapahtui pääsääntöisesti syvyydellä 7-15 m CAPWAP-analysien perusteella. Paalun A vaippakestävyiden kasvu on esitetty kuvassa 4.3. Voimakkainta vaippakestävyiden kasvu oli kerroksissa, jotka sisälsivät hiekkaa/silttistä hiekkaa. Myös paaluilla B ja C oli havaittavissa samankaltaista vaippakestävyiden kasvua kuin paalulla A. (Axelsson 2000).



Kuva 4.3. Testipaalun A vaippakestävyyden kasvu CAPWAP-analyysien perusteella (Axelsson 2000).

Ng et al. (2010) kokosivat tiedot kuudesta hankkeesta, joissa paaluja oli koekuormitettu eri ajanhetkinä. Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia setup-ilmiötä malesialaisessa maaperässä. Kaikki kuusi kohdetta sijaitsi Malesiassa vaihtelevissa pohjaolosuhteissa hiekasta saveen. Tutkimus koostui yhteensä 11 paalusta. Kohteissa paalut olivat lyömällä asennettuja 200 - 500 mm teräsbetonipaaluja ja paalupituudet vaihtelivat 14,5 – 57,5 m. Kaikki 11 paalua oli koekuormitettu vähintään kahteen kertaan. Kuvassa 4.4 on esitetty tutkittujen paalujen geoteknisen kestävyyskasvua esittävä kuvaaja. Geotekninen kestävyys kasvoi selvästi, mutta ei samalla tavalla kuten kuvissa 4.1 ja 4.2. Yhtenä syyinä kuvaajan 4.4 muotoon voi olla, että koheesiomaissa huokosveden ylipaineen purkautumiseen kuluu pidempi aika kuin kitkamaissa (Ng et al. 2010).



Kuva 4.4. Geoteknisen kestävyyskasvu ajan suhteen (Ng et al. 2010).

Pitkänajan setup-ilmiö voidaan jakaa kahteen päätekijään: maan ikääntymiseen (soil ageing) ja virumaan (stress relaxation). Hypoteesit on esittänyt Schmertmann (1991) ja Chow et al. (1996). Päätekijöiden keskinäinen suuruus riippuu olosuhteista, eikä jakoa voida ennakolta sanoa varmasti. Kumpikin päätekijä alkaa vaikuttaa kuitenkin heti paa-lun asentamisen jälkeen (Axelsson 2000).

4.2 Maan ikääntyminen

Maan ikääntymisellä tarkoitetaan tässä yhteydessä häirityssä maassa ajan kanssa tapahtuvaa kasvua maan lujuudessa, jäykkyydessä ja dilataatiossa (Axelsson 2000). Dilataatio on maassa esiintyvien leikkausjännitysten vaikutuksesta tapahtuvaa tilavuuden muutosta. Dilataation vaikutuksesta tiiviissä maassa tilavuus kasvaa.

Maan ikääntymistä seuraavalle lujuuden kasvulle on esitetty kaksi erilaista selitystä: toinen selityksistä perustuu maapartikkelien väliseen sementoitumiseen (Mitchell & Solymar 1984) ja toinen maapartikkelien uudelleenjärjestäytymiseen (Mesri et al. 1990; Schmertmann 1991).

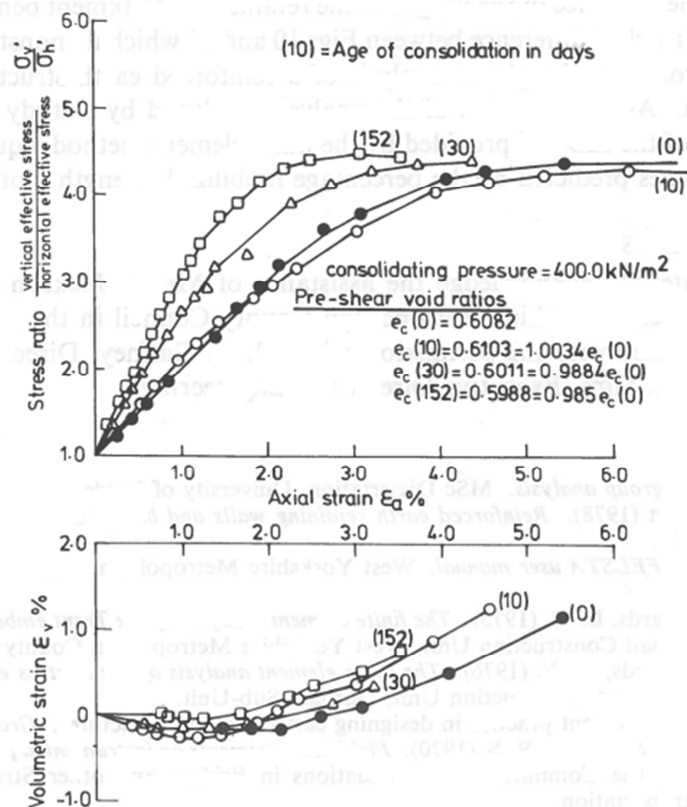
Mitchell & Solymar (1984) esittämä selitys perustuu maan koheesiovoimien kasvuun ja jälkimmäinen selitys maan kitkaominaisuuksien kehittymiseen. Selitykset ovat ristiriidassa keskenään, koska Mitchell & Solymar (1984) esittämässä hypoteesissa koheesio oletetaan kasvavan maapartikkelien välillä ja Schmertmannin (1991) tekemissä tutkimuksissa koheesiovoima pysyi samana, tai jopa väheni ajan kuluessa.

Mitchell & Solymar (1984) eivät esittäneet tutkimuksessaan näyttöä sille, että maan ikääntyminen perustuu todennäköisimmin partikkelien väliseen sementoitumiseen. Sementoitumisen taustalla vaikuttavat reaktiot ovat monimutkaisia ja reaktioiden suuruusluokkaa on vaikea ennustaa. Sementoitumis -hypoteesi perustuu pitkälti olettamuksiin, kun reaktioita on vaikea osoittaa ja todentaa.

Mesri et al. (1990) ja Schmertmann (1991) eivät kuitenkaan pystyneet osoittamaan sementoitumis-hypoteesia vääräksi. Esitettyjen perusteluiden pohjalta on kuitenkin hyvin epätodennäköistä, että sementoitumista tapahtuu samalla, kun maapartikkelit uudelleen järjestäytyvät. Schmertmannin (1991) tutkimuksissa ei esiintynyt näyttöä kemiallisista sidoksista maarakeiden välillä tai koheesiovoimien kasvusta. Tutkimuksissa havaittiin vain maan leikkauskestävyyskulman kasvua, joka on luotettavasti selitettävissä maassa tapahtuvien muutoksien avulla.

Maan ikääntymisen seurauksena tapahtuva maan kitkaominaisuuksien kehittyminen johtuu Schmertmannin (1991) mukaan maarakeiden liukumisesta toistensa ohitse, rakeiden lomittumisesta keskenään ja maan sisäisten jännitysten kaareutumisesta. Maan virumasta saadaan tarvittava energia kitkaominaisuuksien kehittymiseen vaadittaviin muutoksiin maarakenteessa (Schmertmann 1991). Maan ikääntyminen ja viruma ovat siis kiinteästi yhteydessä toisiinsa.

Daramola (1980) suoritti kolmiakσιαalikokeita vedellä kyllästetyille hiekkänäytteille tutkiakseen hiekan konsolidoitumisajan vaikutusta hiekan muodonmuutosominaisuuksiin. Kokeessa hiekkänäytteitä pidettiin 400 kPa paineessa 0, 10, 30 ja 152 päivän ajan, jonka jälkeen näytteet saatettiin leikkausmurtoon tasaisella 0,04 mm/min nopeudella. Kuvassa 4.5 on esitetty kokeiden tulokset.



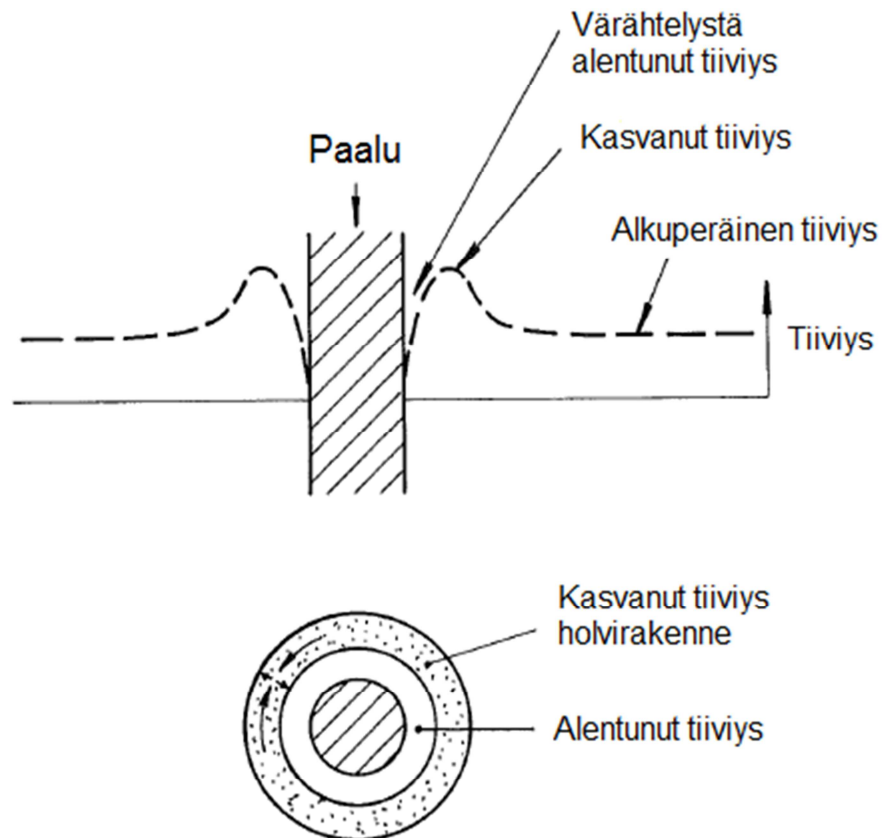
Kuva 4.5. Hiekan konsolidoitumisajan vaikutus hiekan muodonmuutosominaisuuksiin (Daramola 1980).

Kuvasta 4.5 nähdään, kuinka muodonmuutokset pienenevät selvästi näytteen konsolidoitumisajan pidentyessä 10 päivästä eteenpäin. Myös hiekan kokoonpuristuvuusmoduulin havaittiin kasvavan noin 50 % jokaisella ajan logaritmiluvulla (Daramola 1980). Daramolan (1980) tutkimustulokset tukevat maan ikääntymis -hypoteesia.

4.3 Viruma

Maata syrjäyttävän paalun lyöminen kitkamaahan tiivistää maata paalun kärjen alla ja työntää maata kärjen alta paalun sivuille. Maan syrjäytymisen seurauksena myös horisontaaliset jännitykset kasvavat paalun ympärillä (Axelsson & Baker 2007 s. 24).

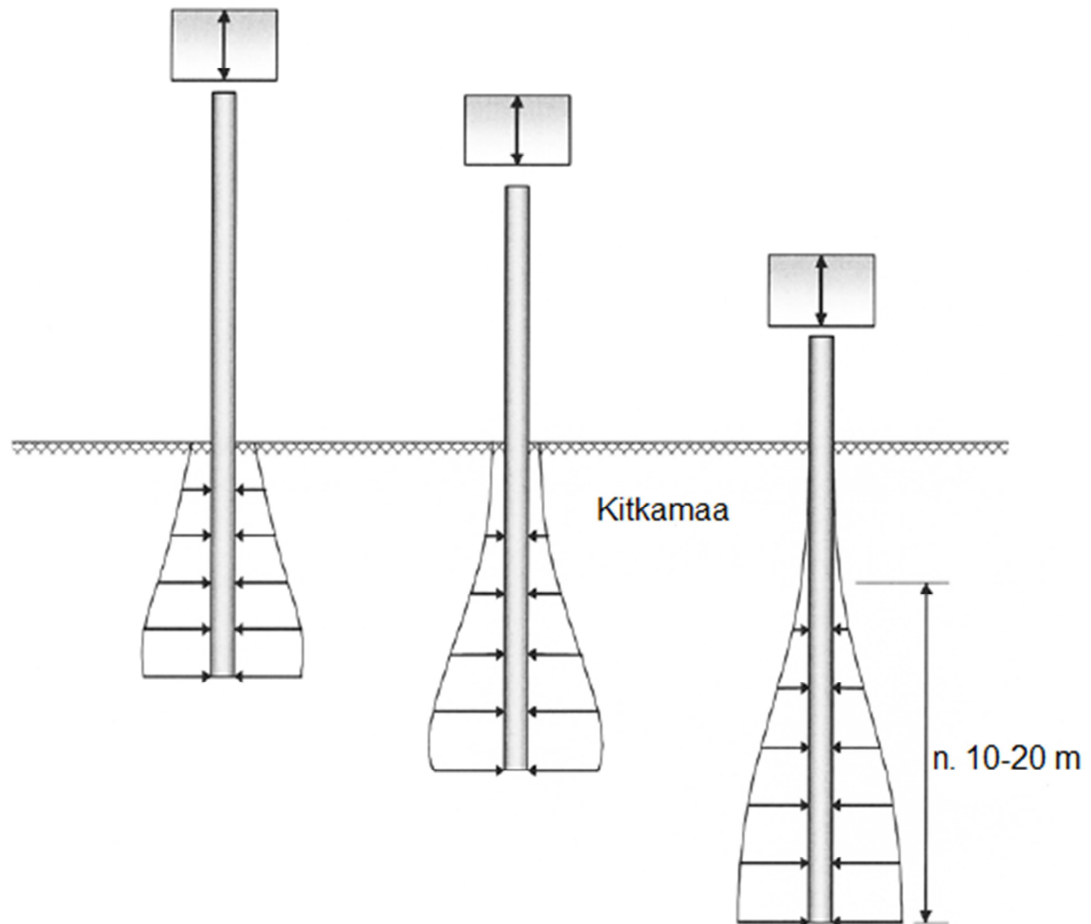
Paalun lyöminen aiheuttaa poikittaisvärähtelyä ympäröivään maahan. Värähtely työntää maata paalun säteen suunnassa vaipalta pois päin. Sivuille työntynyt maa muodostaa paalun vaipan ympärille holvirakenteen, jossa maa aivan paalun vaipan läheisyydessä on alkuperäistä löyhempää ja maa hieman kauempana vaipasta on alkuperäistä tiiviimpää (Åstedt et al. 1994). Nämä tiiviiden muutokset tapahtuvat aivan paalun vaipan välittömässä läheisyydessä. Holvirakenteen muodostuminen on esitetty kuvassa 4.6.



Kuva 4.6. Paalun vaipan välittömässä läheisyydessä tapahtuvat tiiviyyden muutokset paalun asennuksen seurauksena. Perustuu lähteeseen (Åsted 1994 s. 19).

Paalun vaippaan kohdistuvat säteen suuntaiset jännitykset heti asennuksen jälkeen ovat matalia asennuksessa syntyneen holvin takia. Holvirakenteessa taas vaikuttaa korkeita tangentiaalisia jännityksiä. Löyhtyneessä vyöhykkeessä paalun vaippaa vasten vaikuttaa vain matalia säteen suuntaisia jännityksiä, koska holvirakenne estää täyden horisontaalisen maanpaineen vaikuttamasta paalun vaipalla. (Axelsson & Baker 2007 s. 24).

Holvirakenteen vuoksi paalun vaippavastus on heti asennuksen jälkeen matala, koska vaipalla vaikuttavat jännitykset ovat alhaisia (Axelsson & Baker 2007 s. 26). Vaippavastus kasvaa syvyyden kasvaessa, kun holvirakenne vähitellen häviää paalupituuden kasvaessa kuvan 4.7 mukaisesti.



Kuva 4.7. Vaippavastuksen jakautuminen syvyyden suhteen maan holvautumisesta johtuen. Perustuu lähteeseen (Axelsson & Baker 2007 s. 27).

Ajan kuluessa holvirakenne heikkenee ja romahtaa vaippaa vasten, jonka seurauksena vaipalla vaikuttavat säteen suuntaiset jännitykset kasvavat. Tapahtumaa kutsutaan virumaksi tai jännitysrelaksaatioksi (stress relaxation). Axelssonin (2000) mukaan viruman voidaan ajatella jatkuvan vähintään muutamia kuukausia. Holvirakenne voi romahtaa myös aikaisemmin, kun lähellä sijaitsevia paaluja asennetaan maahan lyömällä (Axelsson & Baker 2007 s. 26). Holvirakenteen romahdettua paalun vaippavastus kasvaa säteen suuntaisten jännityksien kasvaessa.

White & Bolton (2004) esittivät, että holvin romahtamisen seurauksena säteen suuntaiset jännitykset aivan paalun vaipan läheisyydessä olisivat matalampia kuin hieman kauempana, mutta jännitykset tasoittuisivat ajan kuluessa. Tutkimuksen mukaan myös setup-ilmiö olisi voimakkainta paalun yläpään läheisyydessä, jossa holvirakenteen romahdaminen tapahtuu. Paalun alapäässä ei holvirakennetta muodostu, kuten kuvassa 4.7. on esitetty. White & Bolton (2004) tutkimuksen tulokset ovat ristiriidassa Samson & Authier (1986) ja Chow et al. (1998) kenttätutkimushavaintojen kanssa, joiden perusteella paalun yläosassa geoteknisen kestävyys ei kasvanut lainkaan.

Säteen suuntaisten jännitysten kasvua paalun vaipalla on tutkinut Ekström (1989). Ekström tutki 60 x 60 mm ja 3,5 m pitkiä instrumentoituja teräspaaluja, jotka asennettiin löyhään hiekkaan. Tutkimuksessa vaipalla vaikuttavat horisontaalijännitykset kasvoivat keskimäärin 5 – 15 % 10 päivän aikana. Tutkimuksessa ei havaittu jännitysten kasvua 9·D syvyydestä eteenpäin. Paalujen vaipalla vaikuttavat horisontaalijännitykset laskivat, kun paalua lyötiin uudelleen. Tutkimuksen tulokset tukevat oletttamaa, että holvirakenne romahtaa ajan kuluessa sekä sitä että holvirakenteen vaikutus häviää syvyyden kasvaessa.

4.4 Imperial College lähestymistapa (Jardine et al. 2005)

Imperial College lähestymistapa perustuu cavity expansion - teoriaan. Cavity expansion -teoriassa tarkastellaan maan yksiulotteisia elastisia ja plastisia muodonmuutoksia. Teoriassa myös maan kokoonpuristuvuus otetaan huomioon toisin kuin perinteisessä kantavuusteoriassa (Wei 2004).

Lehane et al. (1993) suorittivat koekuormituksia kahdelle instrumentoidulle halkaisijaltaan 102 mm teräspaalulle, jotka asennettiin 6 m syvyyteen keskitiiviiseen hiekkaan. Toiselle paaluista tehtiin puristuskokeita ja toiselle vetokokeita. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää mekanismeja, jotka vaikuttavat hiekkaan asennettujen paalujen vaippavastuksen kasvuun.

Lehane et al. (1993) suorittamien tutkimuksien pohjalta ilmeni, että vaipalla vaikuttava maksimi leikkausjännitys puristuksessa saadaan yksinkertaisella Coulombin murtokriteerillä

$$\tau_f = \sigma'_{rf} \tan \delta_f \quad (4.1)$$

missä

τ_f = leikkausjännitys murtotilassa

σ'_{rf} = vaipalla vaikuttava tehokas säteen suuntainen jännitys murtotilassa

δ_f = rajapinnan leikkauskestävyyskulman huippuarvo

Vetokestävyyttä laskettaessa kaavan (4.1) tulos kerrotaan kertoimella 0,8, koska vedossa pääjännityksen kiertyminen on voimakkaampaa. Jardine et al. (1992) tutkimuksissa havaittiin, että rajapinnan leikkauskestävyyskulman huippuarvo δ_f on suunnilleen yhtä suuri kuin vakio tilavuudessa vaikuttava rajapinnan leikkauskestävyyskulma arvo δ_{cv} . Kaavassa (4.1) voi käyttää siis arvoa δ_{cv} huippuarvon tilalla, koska arvot ovat suunnilleen yhtä suuret. Koekuormitustuloksista havaittiin, että paalun vaipalla vaikuttava tehokas säteen suuntainen jännitys murtotilassa muuttui asennuksen jälkeisestä lepojännityksestä arvon $\Delta\sigma'_r$ verran, eli

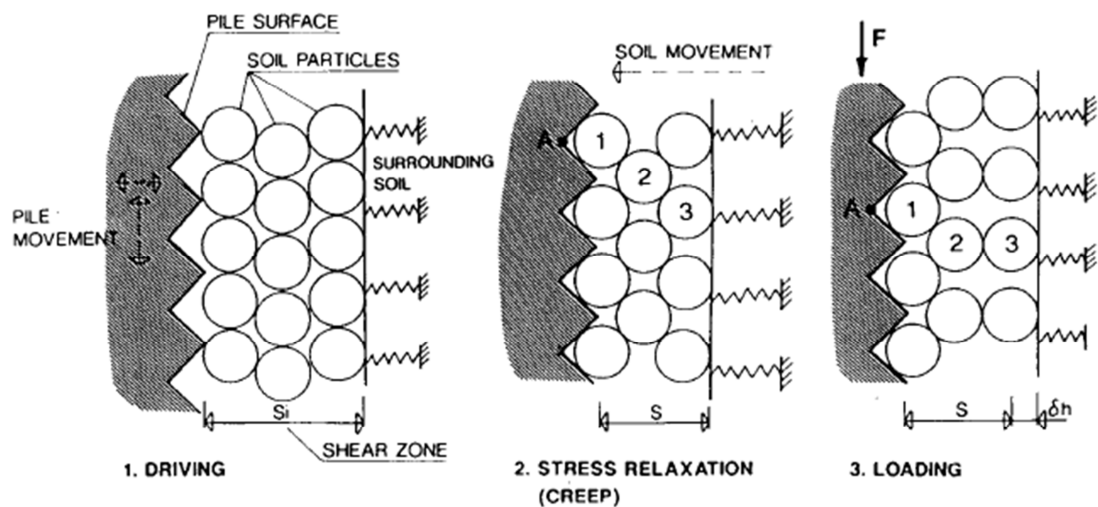
$$\sigma'_{rf} = \sigma'_{rc} + \Delta\sigma'_r \quad (4.2)$$

missä

σ'_{rc} = tehokas säteen suuntainen lepojännitys asennuksen jälkeen

$\Delta\sigma'_r$ = tehokkaan säteen suuntaisen jännityksen muutos kuormituksessa

Vaipalla vaikuttavien tehokkaiden jännitysten kasvu kuormituksessa johtuu pääsääntöisesti dilataatiosta. Viruman ansiosta maarakeet lomittuvat keskenään sekä paalun pinnan kanssa, jolloin dilataation vaikutus kasvaa ajan kuluessa viruman ja maan ikääntymisen edetessä (Axelsson 2000). Kuvassa 4.8 on esitetty mekanismi, kuinka paalun asennus, viruma ja paalun kuormitus vaikuttavat maapartikkelien järjestäytymiseen paalun vaipapinnalla.



Kuva 4.8. Maarakeiden järjestäytyminen vaipalla paluun asennuksen, viruman ja kuormituksen yhteydessä (Axelsson 2000 s. 180).

Lehane et al. (1993) esittivät, että vaipalla vaikuttavien tehokkaiden jännitysten muutos kuormituksen alaisena voidaan jakaa kahteen komponenttiin: dilataatioon ja pääjännitysten kiertymiseen

$$\Delta\sigma'_r = \Delta\sigma'_{rd} + \Delta\sigma'_{rp} \quad (4.3)$$

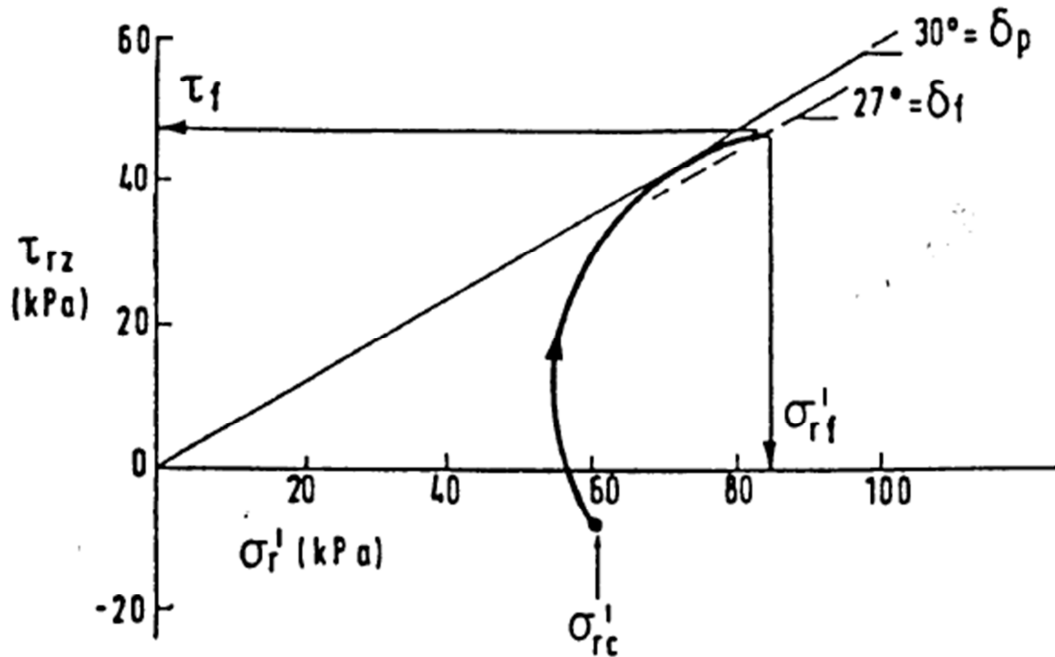
missä

$\Delta\sigma'_{rd}$ = dilataatiosta johtuva muutos tehokkaassa säteittäisessä jännityksessä

$\Delta\sigma'_{rp}$ = pääjännitysten kiertymisestä johtuva muutos tehokkaassa säteen suuntaisessa jännityksessä

Kuvassa 4.9 on esitetty puristuskokeen tulos anturista, joka sijaitsee syvyydellä $h/R = 8$, jossa h on etäisyys paalun kärjestä tarkastelutasolle ja R on paalun säde. Kuvasta nähdään, että kuormituksen alkupuolella σ'_r on aluksi negatiivinen, mutta kuormituksen jatkuessa σ'_r muuttuu positiiviseksi ja kasvaa 1,4-kertaiseksi σ'_{rc} arvoon verrattuna. Kuormituksen alussa jännityksen alenemiselle Lehane et al. (1993) arvioivat syyksi

pääjännitysten kiertymisen. Dilataation oletettiin aiheuttavan merkittävän jännitysten kasvun kuormituksen edetessä.



Kuva 4.9. Paalun puristuskokeen jännityspolkukuvaaja (Lehane et al. 1993).

Dilataation suuruus riippuu maan suhteellisesti tiivyydestä ja vallitsevasta jännitystasosta (York et al. 1994). Dilataation vaikutus vähenee maassa vaikuttavan jännitystason noustessa (Boulon & Foray 1986). Suhteellisen tiivyyden kasvaessa partikkelien välinen kontaktipinta-ala kasvaa, jolloin myös maan kitkaominaisuudet kehittyvät (McDowell & Bolton 1998). Kaavassa (4.3) esiintyvää dilataatiosta johtuvaa jännityksen vua $\Delta\sigma'_{rd}$ voidaan arvioida Boulon & Foray (1986) esittämällä kaavalla. Kaava perustuu cavity expansion –teoriaan.

$$\Delta\sigma'_{rd} = 2\delta h \frac{G}{R} \quad (4.4)$$

missä

G = maan leikkausmoduuli

R = paalun säde

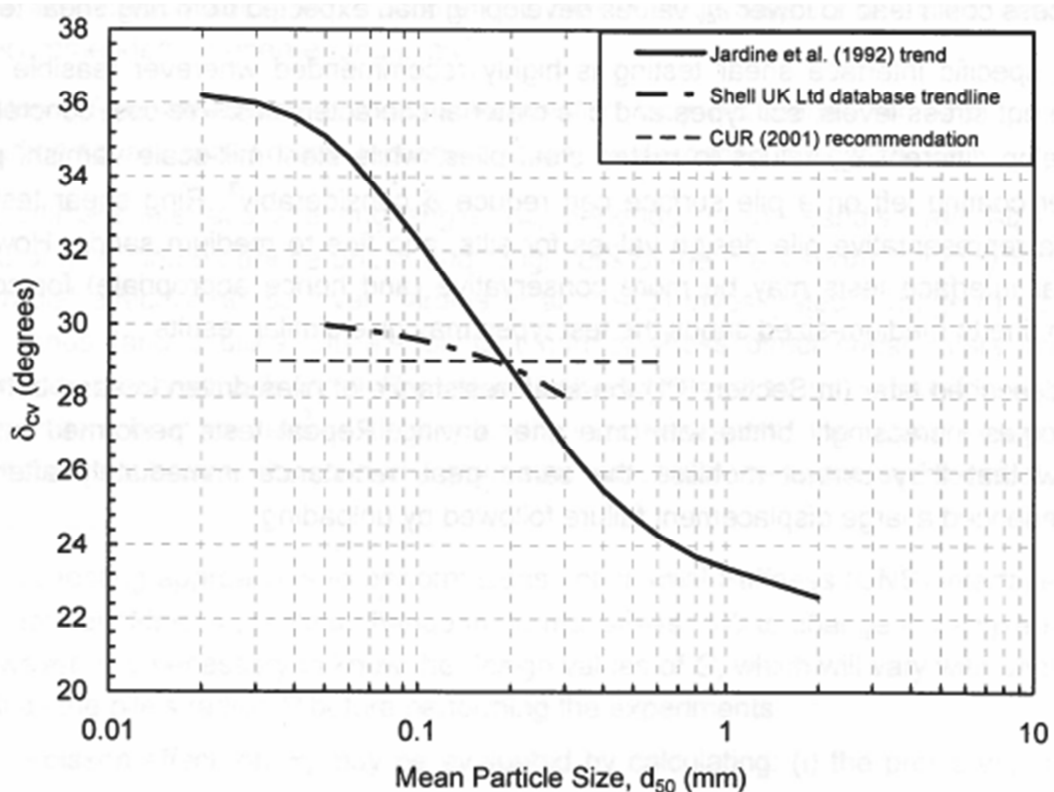
δh = vaakasiirtymä (dilataatio)

Kaavan mukaan paalun sädettä kasvatettaessa dilataation vaikutus vähenee ja lähenee suuriläpimittaisilla paaluilla arvoa nolla. Suurempi läpimittaisen paalun asennus kasvat-
taa maassa vaikuttavaa jännitystasoa enemmän kuin pienempi läpimittaisen paalun
asennus, jolloin dilataation vaikutus vähenee suuremmilla paaluilla (Lehane et al. 1993).
Myös holvirakenteen muodostuminen ja sitä seuraava maan viruma ovat vähäisempiä
suuremmilla paaluilla (Axelsson 2000). Thomann & Hryciw (1992) mukaan paalun
säteellä ei ole merkitystä setup-ilmiön suuruuteen, koska suurempia paaluja asennetta-

essa paalut leikkaavat maata enemmän, jolloin esiintyy myös suurempia lujuuden palautumisreaktioita. Thomann & Hryciw (1992) tekemä havainto on ristiriidassa kaavan (4.4) kanssa.

4.4.1 Maarakeiden koon, muodon ja lujuuden vaikutus

Maarakeiden koko, muoto ja lujuus vaikuttavat siihen, kuinka paljon viruma ja maan ikääntyminen kasvattavat maan lujuutta sekä maan dilataatiokäyttäytymistä (Axelsson 2000). Yleisesti ajatellaan, että raekoon kasvaessa myös leikkauskestävyyskulma kasvaa, mutta Jardine et al. (1992) mukaan kaavan (4.1) rajapinnan leikkauskestävyyskulma arvo δ_{cv} pienenee, kun maan keskimääräistä raekokoa kasvatetaan. Perusteluksi Jardine et al. (1992) esittivät, että pienemmät maarakeet lomittuvat paalun vaippapinnan kanssa tehokkaammin, jolloin leikkauskestävyyskulma kasvaa. Syynä voi olla myös kontaktipinta-alan ja rakeiden lujuuden kasvu, kun raekoko pienenee (McDowell & Bolton 1998). Kuvassa 4.10 on esitetty yhtenäisellä viivalla maan ja teräspaalun rajapinnan leikkauskestävyyskulma keskimääräisen raekoon funktiona.



Kuva 4.10. Rajapinnan leikkauskestävyyskulma maan raekoon funktiona. Perustuu lähteeseen (Jardine et al. 2005 ensimmäisen kerran Jardine et al. 1992).

Särmikkäillä maarakeilla esiintyy suurempaa dilataatiota kuin pyöreillä maarakeilla. Särmikkäät maarakeet lomittuvat keskenään sekä paalun vaippapinnan kanssa tehokkaammin kuin pyöreät maarakeet, jonka seurauksena dilataatio kasvaa (Axelsson 2000).

Maapartikkelien lujuus vaikuttaa myös maan dilataatiokäyttämiseen. Lujilla maara-keilla tapahtuu vähemmän rakeiden murskaantumista kuormituksessa ja paalua asennet-taessa kuin heikoilla maarakeilla. Maarakeiden murskautuminen kuormituksessa vähen-tää dilataation vaikutusta, koska tilavuuden kasvua ja sitä myöten horisontaalisten jänni-tysten kasvua ei tapahdu, jos rakeet murskautuvat. Maarakeiden murskaantuminen li-sääntyy raekoon kasvaessa, kun kontaktipinnoilla vaikuttava paine kasvaa (Axelsson 2000).

4.4.2 Vaippapinnan karkeuden vaikutus

Uesugi et al. (1988) osoittivat leikkauskokeilla, että karkealla kosketuspinnalla dilataa-tio ja partikkelien järjestäytyminen tapahtuu 5-8 mm paksuisella alueella kosketuspinnasta. Karkealla kosketuspinnalla leikkausvyöhykkeen paksuuden voidaan arvioida ole-van $5 \cdot d_{50}$, jossa d_{50} on maan keskimääräinen raekoko. Uesugi et al. (1988) kokeissa sileällä kosketuspinnalla ei havaittu leikkausvyöhykettä, eikä merkittäviä muodonmuu-toksia, koska rakeet luistivat pinnalla.

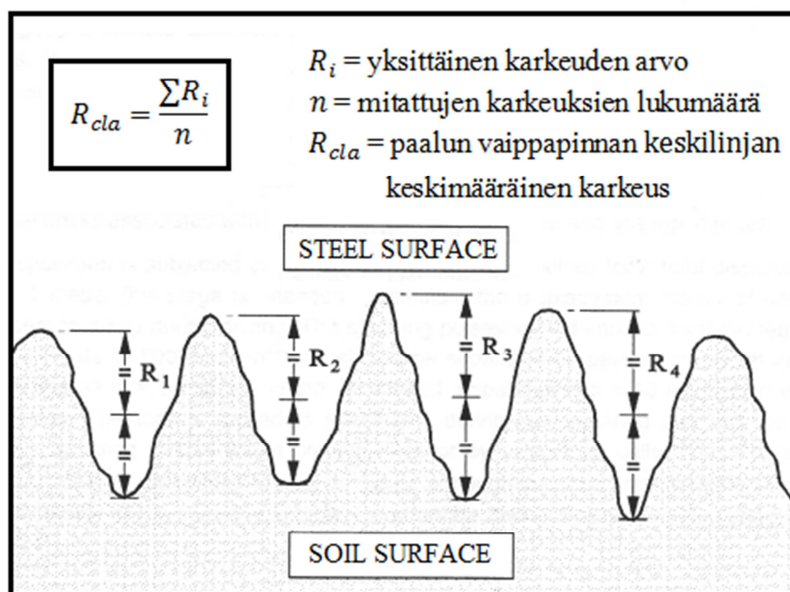
Paalun vaippapinnan karkeus vaikuttaa merkittävästi rajapinnan leikkauskestävyyskul-maan ja rakeiden lomittumiseen vaippapinnan kanssa. Siten rajapinnan dilataatiokäyt-täytyminen kuormituksen alaisena riippuu vaippapinnan karkeudesta. Paalun vaippa-pinnan karkeuden merkitystä jännityslisäykseen kuormituksessa voidaan arvioida Jardi-ne et al. (2005) esittämällä kaavalla

$$\Delta\sigma'_r = \frac{4GR_{cla}}{R} \quad (4.5)$$

missä

R_{cla} = paalun vaippapinnan keskilinjan keskimääräinen karkeus

Kaava (4.5) on johdettu kaavasta (4.4), kun δh on korvattu tekijällä $2 \cdot R_{cla} \cdot R_{cla}$ arvo $10 \mu m$ vastaa suunnilleen δh arvoa $0,02 \text{ mm}$. Kaavan mukaan jännityslisäys on suoraan verrannollinen vaippapinnan karkeuteen. Kaava (4.5) voidaan käyttää vain rajallisilla vaippapinnan karkeuksilla, koska kaavan toimivuus on osoitettu vain pienimuotoisten koekuormituksien tuloksilla. Kuvassa 4.11 on esitetty tarkemmin, kuinka R_{cla} määritel-lään vaippapinnasta. Tarkkaan määrittelyyn käytetään mikroskooppia ja karkeaan arvi-ointiin voidaan käyttää tunnustelua ja vertaamalla tätä tunnettuun pinnan karkeuteen.



Kuva 4.11. Paalun vaippapinnan keskilinjän karkeuden määrittäminen. Perustuu lähteeseen (Jardine et al. 2005).

4.4.3 ICP-metodi

Edellä esitetyn lähestymistavan pohjalta on kehitetty menetelmä paalun geoteknisen kestävyyslaskemiseen. Menetelmää kutsutaan ICP-metodiksi (ICP, Imperial College Pile). Ensimmäisessä menetelmässä paalun geotekninen kestävyys lasketaan CPT-kairausvastuksen perusteella, mutta myös muita kairausvastuksia voidaan käyttää. Tällöin vain epävarmuus kasvaa ja joudutaan käyttämään suurempia varmuuskertoimia. Menetelmää ei kirjoittajan tietojen mukaan käytetä Suomessa ja menetelmä on vielä melko uusi. Menetelmästä on saatu kuitenkin hyviä kokemuksia muun muassa Ruotsissa, jossa menetelmää käytetään jonkin verran kitkapaalukohteissa (Alheid 2015). Menetelmän käyttö vaatii kuitenkin aina laadukkaita CPT/CPTU-kairauksia kohteessa ja paalun vaipan ja maan välisen rajapinnan leikkauskestävyyskulman ja maan tilavuuspainon määrittämistä laboratoriossa tai in-situ menetelmillä. Lisäksi käyttäjällä täytyy olla ymmärrystä Imperial College -lähestymistavasta.

Laskentamenetelmää on kehitetty yli kaksikymmentä vuotta eri tutkimuksien avulla. Menetelmä on kehitetty instrumentoitujen paalujen koekuormitustulosten pohjalta ja menetelmä on korjattu vastaamaan aikaisempia teräsbetoni- ja teräspaalujen koekuormitustuloksia (Jardine & Chow 1996; Jardine et al. 2005). ICP-metodi on ensimmäisessä suunniteltu teräspaalujen geoteknisen kestävyyslaskentaan, mutta menetelmää voidaan käyttää myös teräsbetoni- ja teräspaalujen geoteknisen kestävyyslaskennassa.

ICP-metodi on mielenkiintoinen menetelmä, koska se ottaa geoteknisen kestävyyslaskennan kasvuajan suhteen huomioon toisin kuin muut laskentatavat, tosin hyvin rajallisesti. Tehokas säteen suuntainen lepojäännitys ja dilataatio ovat aikariippuvaisia laskentapara-

metreja, joiden kasvun perusteella geoteknisen kestävyyskasvaminen ajan suhteen huomioidaan.

Vaippavastuksen laskeminen

Vaippavastus lasketaan kymmenen päivän kuluttua paalun asennuksesta. Vaippavastuksen laskenta perustuu Coulombin murtokriteeriin samoin kuin kaava 4.1.

$$f_s = \sigma'_{rf} \tan \delta_{cv} \quad (4.6)$$

missä

f_s = vaippavastus murtotilassa

δ_{cv} = paalu vaipan ja maan välisen rajapinnan leikkauskestävyyskulma vakio tilavuudessa

Rajapinnan leikkauskestävyyskulma määritetään kuvan 4.10 kuvaajan perusteella. Termi σ'_{rf} määritetään lähes samalla tavalla kuin kaavassa (4.2). Ainoana erona on, että lepotilassa vaikuttava jännitys lasketaan kymmenen päivän kuluttua paalun asennuksesta ja kuormituksessa muuttunut jännitys lasketaan vain dilataation perusteella.

$$\sigma'_{rf} = \sigma'_{rc} + \Delta \sigma'_{rd} \quad (4.7)$$

missä

sä

σ'_{rc} = tehokas säteen suuntainen jännitys lepotilassa (10 päivän kuluttua asennuksesta)

Dilataatiosta johtuva jännitysmuutos kuormituksessa lasketaan kaavalla (4.4). Kaavassa (4.4) dilataatio δh saa teräspaaluilla arvon 0,02 mm ja teräsbetonipaaluilla arvon 0,03 mm. Kaavassa (4.4) esiintyvä maan leikkausmoduuli, G , määritetään laboratoriokokeiden avulla. Maan leikkausmoduuli voidaan arvioida myös CPT-kairausvastuksen perusteella, Baldi et al. (1989) esittämällä kaavalla

$$G = q_c / \left[A + B \frac{q_c}{\sqrt{P_a \cdot \sigma'_{v0}}} - C \left(\frac{q_c}{\sqrt{P_a \cdot \sigma'_{v0}}} \right)^2 \right] \quad (4.8)$$

missä

$A = 0,0204$

$B = 0,00125$

$C = 1,216 \cdot 10^{-6}$

q_c = CPT-kairausvastus maakerroksessa

σ'_{v0} = tehokas pystysuora jännitys

P_a = ilmanpaine 100 kPa

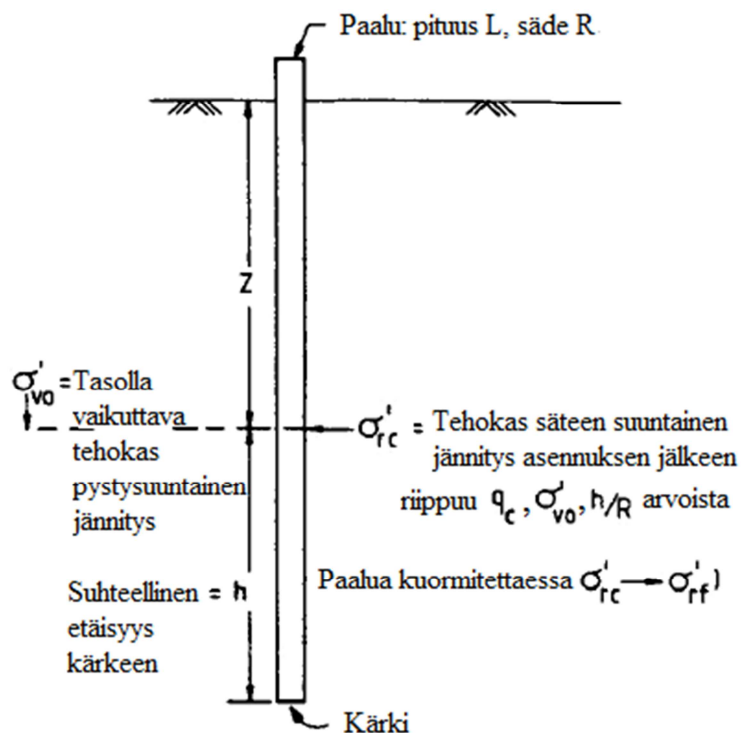
Lepotilassa vaikuttava säteen suuntainen jännitys, σ'_{rc} , lasketaan CPT-kairausvastukseen perustuvalla empiirisellä kaavalla

$$\sigma'_{rc} = 0,029q_c \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{0,13} \left(\frac{h}{R} \right)^{-0,38} \quad (4.9)$$

missä

h = etäisyys paalun kärjestä tarkastelutasolle

Suhteen h/R tulee olla vähintään 8. Paalun säde lasketaan neliskulmaisille paaluille yhtälöllä $R_{ekv} = B/\sqrt{\pi}$, jossa B on paalun sivumitta. Kuvassa 4.12 on havainnollistettu kaavassa (4.9) tarvittavia parametreja.



Kuva 4.12. Lepotilan jännitysten laskentaan tarvittavia parametreja. Perustuu lähteeseen (Jardine et al. 1998).

Avoimen teräspalkkipaalun vaipalla vaikuttavat jännitykset ovat alhaisempia kuin suljetulla teräspalkkipaalulla, koska avoimen teräspalkkipaalun lävistäessä maata syntyy vaipalla jännityshäviöitä (Axelsson & Baker 2007). Tämä otetaan huomioon laskettaessa avoimien teräspalkkipaalujen sädettä. Säde lasketaan kaavalla $R^* = \sqrt{R_u^2 - R_s^2}$, jossa R_u on paalun ulkoinen säde ja R_s on paalun sisäinen säde.

Kärkivastuksen laskeminen

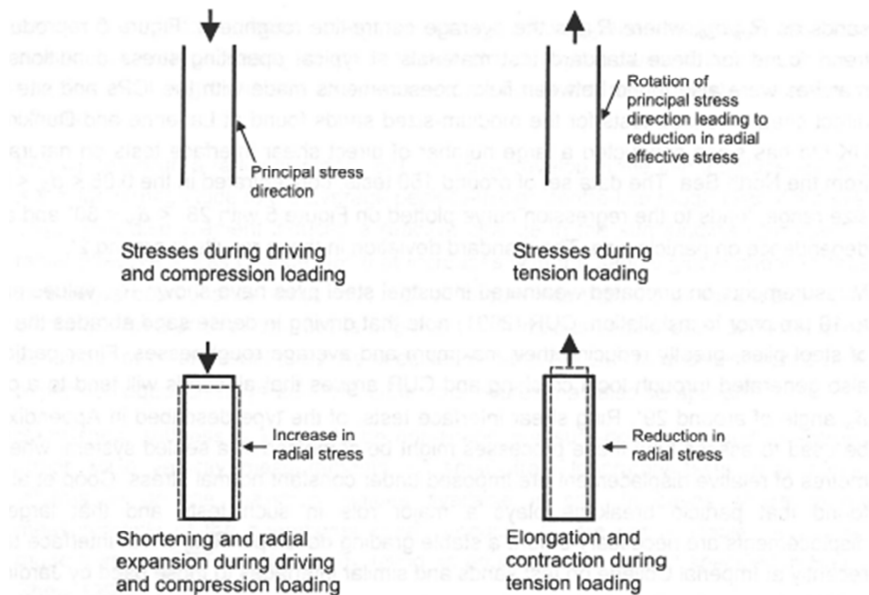
ICP-metodilla paalun kärkivastus lasketaan CPT-kairausvastuksen perusteella täysin empiirisesti

$$q_s = q_c \left(1 - 0,5 \log D / D_{CPT} \right) \quad (4.10)$$

missä

D_{CPT} = CPT-kairan kärjen halkaisija, 36 mm

Kärkivastus voidaan laskea kaavalla (4.10) teräsputkipaaluille, joiden halkaisija D on pienempi kuin 900 mm. Kaava (4.10) on tarkoitettu päästä suljetuille paaluille, mutta lähteessä Jardine et al. (2005) on esitetty laskentakaavat kärjestä avoimille paaluille. Vetokuormituksessa paalun vaippavastuksesta voidaan ottaa huomioon vain 80 %, koska vaipalla vaikuttavat jännitykset laskevat vedossa. Syitä vaipalla vaikuttavien jännitysten laskuun ovat pääjännitysten rotaatio ja paalun elastinen supistuminen. Vedossa leikkausjännitysten suunta muuttuu ja maassa vaikuttava puristusalue pienenee, koska maan pinnan läheisyydessä vaippavastus häviää. Paalun käyttäytyminen ja säteen suuntaiset jännitykset vedossa ja puristuksessa on esitetty kuvassa 4.13.



Kuva 4.13. Paalun käyttäytyminen vedossa ja puristuksessa (Jardine et al. 2005).

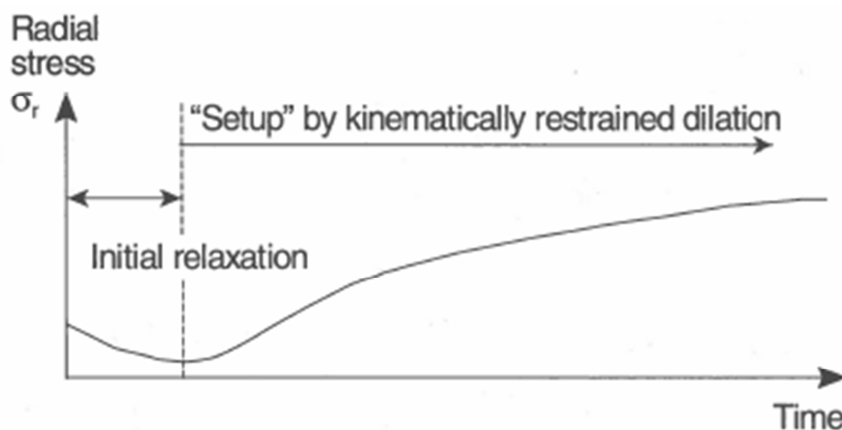
ICP-metodi on kehitetty siis alun perin teräspaaluille, joten metodin käyttö teräsbe-tonipaaluille on melko rajoitettua. Jardine et al. (2005) esittivät vertailulaskelmia laajal-le paalujen koekuormitustietokannalle ICP-metodilla ja muilla yleisillä laskentamene-telmillä. ICP-metodi osoittautui ylivoimaisesti tarkimmaksi menetelmäksi kärki- ja vaippavastuksen laskentaan. ICP-metodia on kritisoitu, koska se on alun perin kehitetty hyvin rajallisten koekuormitustuloksien perusteella. Menetelmä on kuitenkin korjattu vastaamaan hyvin laajaa koekuormitustietokantaa, jossa on erikokoisia ja eripituisia paaluja erilaisissa pohjaolosuhteissa.

4.5 Rajoitettu dilataatio

Bowman & Soga (2005) suorittivat laboratoriossa kolmiakσιαalikokeita eri laatuksille maanäytsille selvittääksien setup-ilmion taustalla vaikuttavia mekanismeja karkeara-keisissa maissa. Kolmiakσιαalikokeet suunniteltiin siten, että ne jäljittelevät mahdollisimman tarkasti jännityspolkuja paalun asennuksesta lepotilaan. Koetulosten perusteella setup-ilmion taustalla esitettiin vaikuttavan maan ikääntyminen ja rajoitettu dilataatio (kinematically restrained dilation). Paalun geoteknisen kestävyyden kasvun suuruuteen vaikuttaa tutkimuksen mukaan: maapartikkelien muoto ja lujuus, maan suhteellinen tiiviys ja kuormitusnopeus.

Paalun asennuksen seurauksena maa paalun ympärillä tiivistyy ja paikalliset jännitykset nousevat. Asennuksen jälkeen maa normaalisti viruu tasoittaakseen paalun asennuksessa syntyneitä jännityksiä. Paalun läsnäolon vuoksi maa ei pysty kuitenkaan laajenemaan, jolloin tehokkaat jännitykset maassa kasvavat ja samalla paaluun säteen suuntaiset lepojännitykset kasvavat. Kyseistä ilmiötä kutsutaan nimellä rajoitettu dilataatio (kinematically restrained dilation) (Bowman & Soga 2005).

Setup-ilmiossä paalun vaipalla vaikuttavat säteen suuntaiset jännitykset kasvavat ajan kuluessa. Maan virumassa syntyneiden muodonmuutosten suuruus vaikuttaa kasvavien säteen suuntaisten jännitysten suuruuteen, joka vaikuttaa suoraan setup-ilmion suuruusluokkaan. Kuvassa 4.14 on havainnollistettu, kuinka säteen suuntaiset jännitykset muuttuvat paalun asennuksen jälkeen ”kinematically restrained dilation” -ilmiossä tilavuuden pysyessä vakiona.



Kuva 4.14. Paalun vaipalla vaikuttavien jännitysten kasvaminen, kun maan tilavuus pysyy vakiona (Bowman & Soga 2005).

Kuvassa 4.14 paalun asennuksen jälkeen säteen suuntaiset jännitykset aluksi laskevat, joka johtuu maan tiivistymisestä (contractive creep). Maan kutistumista seuraa maan laajeneminen eli niin sanottu ”dilatant creep” (Bowman & Soga 2005).

Bowman & Soga (2005) laboratoriokokeista tekemät viisi päähavaintoa on:

1. Kuivalla ja vedellä kyllästetyllä puhtaalla hiekalla havaittiin vain pieniä eroavaisuuksia viruman suuruudessa.
2. Materiaalilla, joka koostui pienistä, lujista maarakeista, havaittiin suurin laajeneminen eli ”dilatant creep”.
3. Tiiviillä mailla laajeneminen on voimakkaampaa kuin löyhillä mailla.
4. Syklisillä kuormituksilla pystyttiin nopeuttamaan setup-ilmiön kehitystä, mutta kuormituksen suuruudella ja taajuudella oli merkittävä rooli. Pahimmassa tapauksessa maarakeet hajoavat kuormituksessa ja jännitykset laskevat.
5. Hitaassa kuormituksessa setup-ilmiön suuruus on pienempi kuin nopeassa kuormituksessa.

Kinematically restrained dilation -hypoteesin avulla voidaan selittää joitakin aikaisempia setup-ilmiöön liittyviä havaintoja. Axelsson (2000) havaitsi, että paalujen geoteknisen kestävyyskasvu alkaa pienellä viiveellä paalun asennuksesta. Tämä voidaan selittää paalun asennusta seuraavan maan kutistumisen ja sitä seuraavan jännitysten alenemisen avulla. Samson & Authier 1986; Chow et al. 1998 tekemissä kenttätutkimuksissa havaittiin, että paalun yläosassa ei juuri tapahdu geoteknisen kestävyyskasvua. Tähän selityksenä on, että maan pinnassa kinemaattiset rajoitteet eivät ole niin voimakkaita kuin syvemmällä maan sisässä.

Bowman & Soga (2005) esittämä kinematically restrained dilation -hypoteesi on joiltakin osin ristiriidassa cavity expansion teorian kanssa. Cavity expansion teorian mukaan dilataation vaikutus vähenee paalun säteen kasvaessa, mutta Bowman & Soga (2005) esittämän hypoteesin mukaan paalun säteellä ei ole merkitystä dilataation suuruuteen. Thomann & Hryciw (1992) mukaan suurempaa paalua asennettaessa paalu häiritsee maata enemmän, jolloin myös maan lujuuden palautuminen on merkittävämpi.

4.6 Aikatekijän laskentakaavat

Aikatekijän vaikutuksen arvioimiseksi on esitetty kirjallisuudessa useita erilaisia laskentakaavoja. Tässä työssä on esitelty kirjoittajan mielestä keskeisimmät laskentakaavat. Esiteltyjen laskentakaavojen toimivuutta on kokeiltu koekohteen olosuhteissa. Kaavoilla saadut tulokset ja arviot kaavojen toimivuudesta on esitetty kappaleessa 7.

4.6.1 Skov & Denver (1998)

Skov & Denver (1988) esittämä kaava on tällä hetkellä käytetyin kaava paalun geoteknisen kestävyyskasvun arvioimiseksi (Alawneh et al. 2009). Kaava on kehitetty kolmen koekuormituskohteen pohjalta. Koekuormituskohteissa paaluille suoritettiin staattisia ja dynaamisia koekuormituksia. Koekuormitukset suoritettiin 12 h asennuksen jälkeen ja 23 päivän kuluttua asennuksesta.

$$\frac{Q}{Q_0} = 1 + A \log\left(\frac{t}{t_0}\right) \quad (4.12)$$

missä

t = kulunut aika paalun asennuksesta (EOD)

t_0 = kulunut aika lyönnin lopettamisesta = 0,5 päivää

Q_0 = paalun kantavuus ajanhetkellä t_0

Q = paalun kantavuus ajanhetkellä t

A = kerroin, joka kertoo kantavuuden suhteellinen kasvun suuruuden ajan logaritmiluvulla

Kertoimelle A Skov & Denver (1988) suosittelivat kitkamaissa arvoa 0,2, joka tarkoittaa, että ajan logaritmiluvulla paalun kapasiteetti kasvaa 20 %. Chow et al. (1998) mukaan kerroin A vaihtelee välillä 0,25 - 0,75. Alawneh et al. (2009) esitti kertoimen A arvioimiseksi kaavan. Kaavasta on kerrottu tarkemmin alaluvussa 4.5.3.

$$A = 0,005 \left(\frac{L}{D}\right) \exp(0,6 \tan \phi) \quad (4.13)$$

missä

L = paalun pituus

D = paalun halkaisija

ϕ = maan leikkauskestävyyskulma

Kaava (4.12) perustuu rajalliseen määrään koekuormitustuloksia ja kaava on kehitetty vain lyhyen ajanjakson perusteella (23 päivää), kun paalujen geoteknisen kestävyys on osoitettu kasvavan paljon pidemmällä aikavälillä monissa kohteissa (Åstedt et al. 1994; Axelsson 2009). Axelsson (2000) kuitenkin osoitti kaavan (4.12) antavan luotettavia tuloksia kirjallisuudessa esitettyjen tutkimuskohteiden perusteella (Tavenas & Audy 1972; Fellenius et al. 1989; York et al. 1994) ainakin ensimmäisen kuukauden ajan paalun asennuksesta.

4.6.2 Svinkin (1996)

Svinkin (1996) suoritti koekuormituksia viidelle betonipaalulle, jotka asennettiin tiiviiseen silttiseen hiekkaan. Paalujen geoteknisen kestävyys havaittiin kasvavan 10 päivän ajan paalujen asennuksesta, jonka jälkeen kantavuus pysyi vakiona. Koekuormitustuloksien pohjalta Svinkin kehitti kaavan

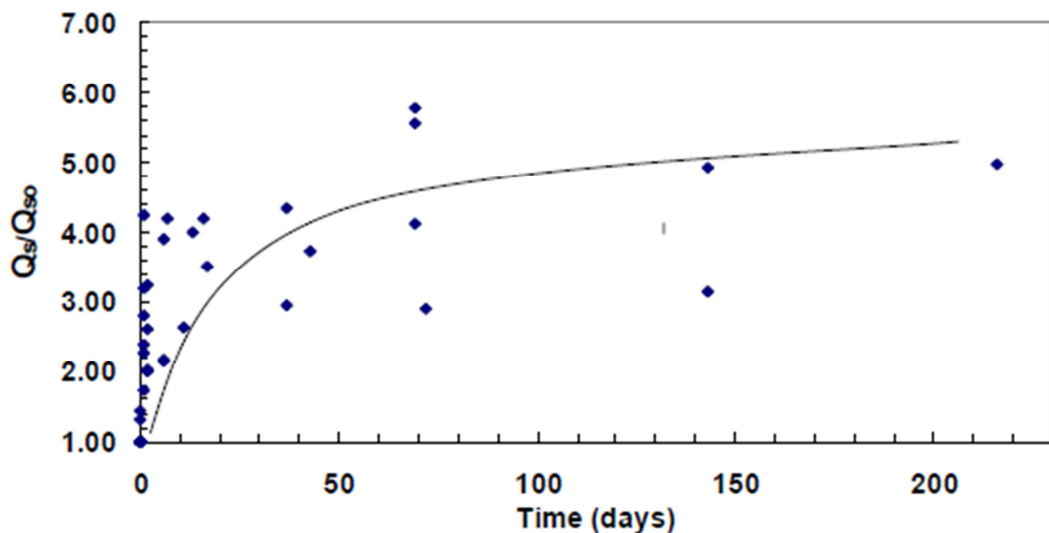
$$Q_t = (1,025 - 1,4) Q_0 t^{0,1} \quad (4.14)$$

Kaava aliarvioi paalujen pitkän aikavälin kapasiteetin kasvua, koska se on kehitetty koekuormitustuloksien pohjalta, jotka ulottuvat vain alle 25 päivää EOD (Alawneh et al. 2009). Paalujen geoteknisen kestävyys kasvua lyhyemmällä aikavälillä voidaan kuitenkin arvioida tällä Svinkin esittämällä kaavalla.

4.6.3 Alawneh et al. (2009)

Alawneh et al. (2009) tekemässä tutkimuksessa kehitettiin edellä esitettyjä laskentakaavoja. Laskentakaavoja muokattiin kirjallisuudessa esitettyjen koekuormitustuloksien pohjalta. Kaavojen kehityksessä käytettiin yhteensä 55 paalun koekuormitustuloksia. Koekuormitustulokset oli kerätty kymmenestä eri tutkimuksesta eri puolilta maailmaa. Koekuormitetut paalut oli asennettu kitkamaihin, joissa suhteellinen tiiviys vaihteli 35–65 % ja kitkakulma vaihteli 30–38 °. Paaluille oli suoritettu joko staattisia tai dynaamisia koekuormituksia.

Alawneh et al. (2009) tekemässä tutkimuksessa ilmeni, että paalun geotekninen kestävyys voi kasvaa yli 200 päivän ajan. Tutkimuksessa havaittiin jopa 300 % kestävyiden kasvu setup-ilmiön seurauksena. Erityisesti vaippakestävyiden osoitettiin kasvavan ajan myötä. Tutkittujen paalujen vaippakestävyiden kasvu ajan funktiona on esitetty kuvassa 4.15. Kärkivastus pysyi keskimäärin vakiona tutkituilla paaluilla.



Kuva 4.15. Vaippakestävyiden kasvu ajan funktiona (Alawneh et al. 2009).

Tutkimuksessa ilmeni, että paalun halkaisijan kasvaessa geoteknisen kestävyiden kasvu vähenee (Alawneh et al. 2009). Tämä havainto tukee Imperial College lähestymistavan olettaa siitä, että dilataation vaikutus pienenee paalun säteen kasvaessa kaavan (4.4) mukaisesti. Paalun pituuden osoitettiin vaikuttavan myös kestävyiden kasvuun ajan suhteen, koska pitkällä paaluilla on suurempi vaippapinta-ala kuin lyhyemmillä paaluilla.

Alawneh et al. (2009) tutkimuksessa hoikkuusluku L/D osoittautui kaikkein merkittävimmäksi tekijäksi setup-ilmiön suuruuteen. Hoikkuusluku ottaa huomioon sekä paalun halkaisijan että paalun pituuden. Tutkimuksessa havaittiin lisäksi, että maan suhteellinen tiiviys ja leikkauskestävyyskulma vaikuttavat geoteknisen kestävyiden kasvuun. Tutkimuksen tuloksien perusteella kehitettiin kaavat kantavuuden arvioimiseksi

$$\frac{Q_t}{Q_0} = 1 + 0,005 \left(\frac{L}{D} \right) \exp(0,6 \tan \phi) \log\left(\frac{t}{t_0}\right) \quad (4.15)$$

$$\frac{Q_t}{Q_0} = 1 + 0,007 \left(\frac{L}{D} \right) \exp(0,14 D_r) \log\left(\frac{t}{t_0}\right) \quad (4.16)$$

missä

D_r = maan suhteellinen tiiviys

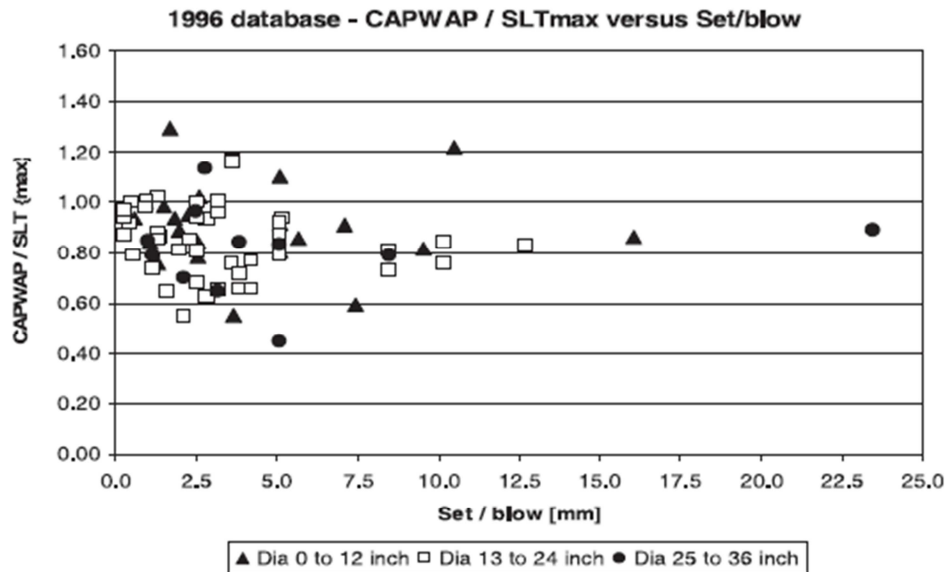
Leikkauskestävyyskulmalle ja suhteelliselle tiiviydelle on esitetty erikseen omat kaavansa, koska hankkeesta riippuen saatavilla voi olla joko leikkauskestävyyskulma tai suhteellinen tiiviys. Alawneh et al. (2009) tutkimuksessa esitettiin kaavat myös pelkän vaippakestävyuden arvioimiseen, mutta paalun kokonaiskestävyyttä on helpompi vertailla muihin edellä esitettyihin aikatekijän laskentakaavoihin.

5. DYNAAMINEN KOEKUORMITUS JA SIGNAALINMALLINNUS

5.1 Tausta

Paalun geotekninen puristuskestävyys voidaan määrittää dynaamisen tai staattisen koekuormituksen avulla. Staattinen koekuormitus vastaa hyvin paalujen oikeaa kuormitustilannetta, mittaustekniikka on yksinkertaista ja menetelmä on hyvin luotettava, mutta staattisten koekuormitusten tekeminen on hidasta ja kallista. Dynaamisten koekuormitusten on osoitettu olevan nopeampi ja kustannuksiltaan edullisempi tapa puristuskestävyyden määrittämiseen kuin staattiset koekuormitukset (Hanningan et al. 1998; Orsetti & Rosa 2012). Dynaamisesta koekuormituksesta saadaan paalun geoteknisen kestävyiden ohella lisäksi paljon muuta tärkeää tietoa. Dynaamista koekuormitusta kutsutaan myös PDA-mittaukseksi (PDA, Pile Driving Analyzer).

Dynaamisten ja staattisten koekuormitustuloksien on osoitettu vastaavan toisiaan hyvällä tarkkuudella (Likins & Rausche 2004). Kuvassa 5.1 on esitetty tutkimustuloksia, joissa verrattiin dynaamisten ja staattisten koekuormitusten keskinäistä vastaavuutta koekuormituksessa syntyneen pysyvän painuman suhteen. Kuvan mukaan suuremmilla pysyvän painuman arvoilla dynaaminen koekuormitus vastaa hyvin staattisen koekuormituksen tuloksia. Pienemmillä painuman arvoilla vastaavuuksien hajonta on suurempi, mutta mitattuja arvoja suurilla painumilla on vain muutama, joten selkeitä johtopäätöksiä ei voida tämän kuvan perusteella tehdä.



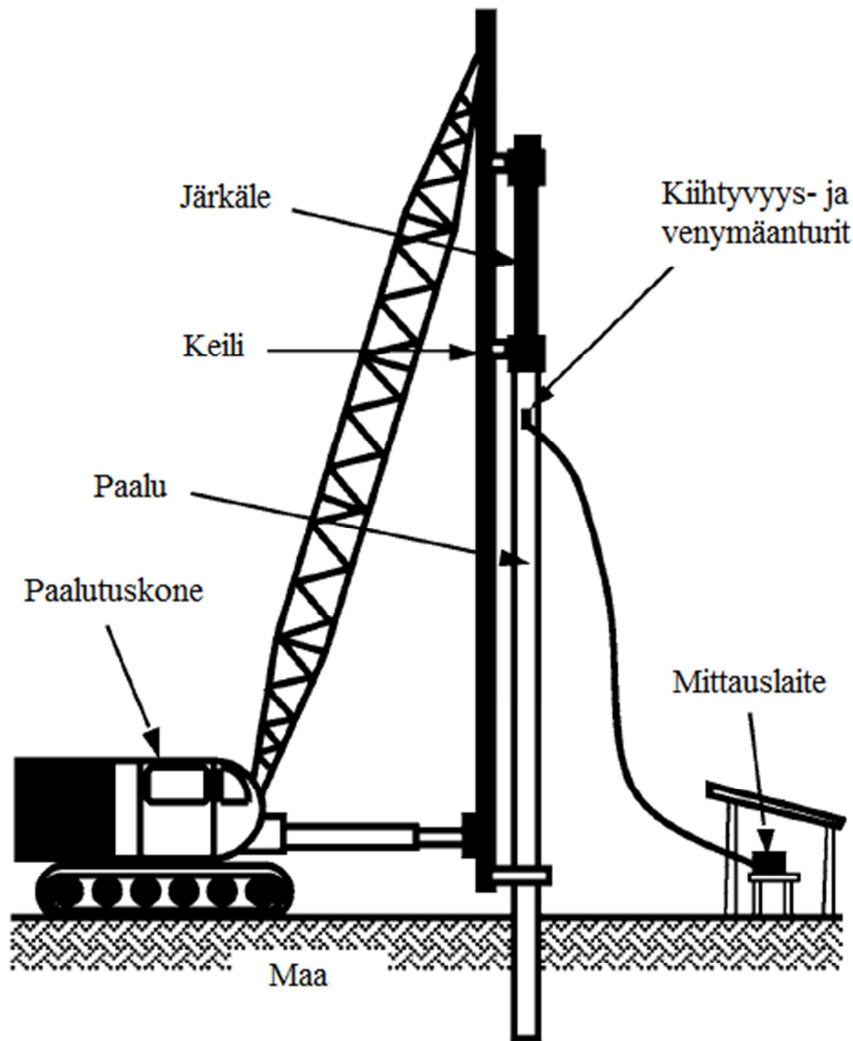
Kuva 5.1. Dynaamisen koekuormituksen suhde staattiseen koekuormitukseen pysyvän painuman funktiona (Likins et al. 2008).

Dynaamisessa koekuormituksessa paalua lyödään lyöntilaitteella ja paaluun kiinnitetyillä kiihtyvyys- ja venymäantureilla mitataan lyöntilaitteen iskun aiheuttaman iskuaallon nopeutta ja paalun venymää. Dynaamisten koekuormitusten avulla voidaan: laskea paalussa esiintyvät jännitykset asennuksessa, määrittellä paalun ehjyys, arvioida paalun geoteknistä kestävyyttä ja paalutuskaluston tehokkuutta (Hannigan et al. 1998).

Dynaamisten koekuormitusten tuloksia voidaan jatkojalostaa ja arvioida signaalinmallinnuksen avulla. Signaalinmallinnuksella pystytään määrittämään paalun vaippa- ja kärkikestävyuden jakautuminen ja dynaamiset maaparametrit iskuaaltoanalyysia (Wave Equation Analysis) varten.

5.2 Dynaaminen koekuormitus

Dynaamisten koekuormitusten tekemiseen tarvitaan: mittauslaite, kiihtyvyys- ja venymäantureita sekä pudotus- tai hydraulijärkäleellä varustettu paalutuskone. Kuvassa 5.2 on esitetty dynaamisen koekuormituksen tekemistä varten tarvittavat laitteet.



Kuva 5.2. Järjestelyt dynaamista koekuormitusta varten. Perustuu lähteeseen (ASTM D 4945 2013).

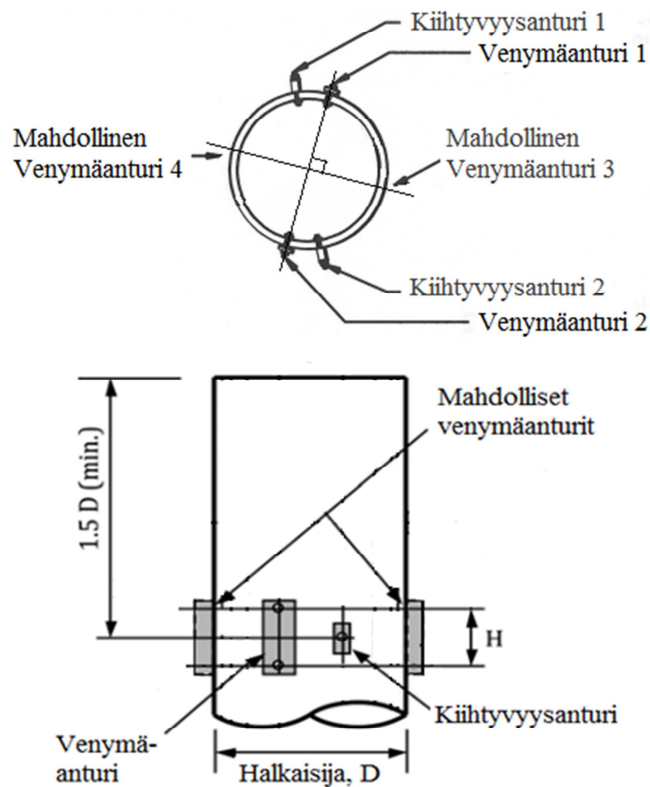
5.2.1 Laitteisto

Mittausanturit on yhdistetty yleensä kaapeleilla mittauslaitteeseen, mutta on olemassa myös langattomia mittausantureita. Normaalisti mittauslaitteeseen on mahdollista kytkeä neljä kiihtyvyys- ja venymäanturia. Kytettävien antureiden määrä on kuitenkin mittauslaittekohtainen. Mittauslaitteen näytteenottotaajuutena voidaan käyttää 5, 10 tai 20 kHz. Ennen mittauksien aloitusta mittalaitteelle tehdään kalibrointitesti, jolla varmistetaan laitteen ja antureiden toimivuudesta, mutta myös jälkikäteen voidaan todeta mittalaitteen kalibrointi (Pile Dynamics, Inc 2000).

Paaluun kiinnitettyjen kiihtyvyysantureiden avulla mitataan lyöntilaitteen iskun aiheuttamaa paalun partikkelinopeutta paalussa ajan funktiona. Venymäantureiden avulla mitataan iskuaallon aiheuttamaa venymää paalussa ajan funktiona. Kiihtyvyys- ja venymäantureita kiinnitetään paaluun vähintään kaksi kumpaakin (ASTM D 4945 2013). Kierresaumattuja teräspalkkipaaluja tai läpimitaltaan yli 400 mm paaluja mitattaessa venymäantureita kiinnitetään paaluun neljä kappaletta (RIL 254-2011).

Mittausanturit täytyy kalibroida vähintään kahden vuoden välein valmistajan suositusten mukaisesti (ASTM D 4945 2013). Myös kaikki muut mittauslaitteet, tiedon tallennukseen, käsittelyyn ja esittämiseen tarvittavat laitteet täytyy kalibroida vähintään kahden vuoden välein.

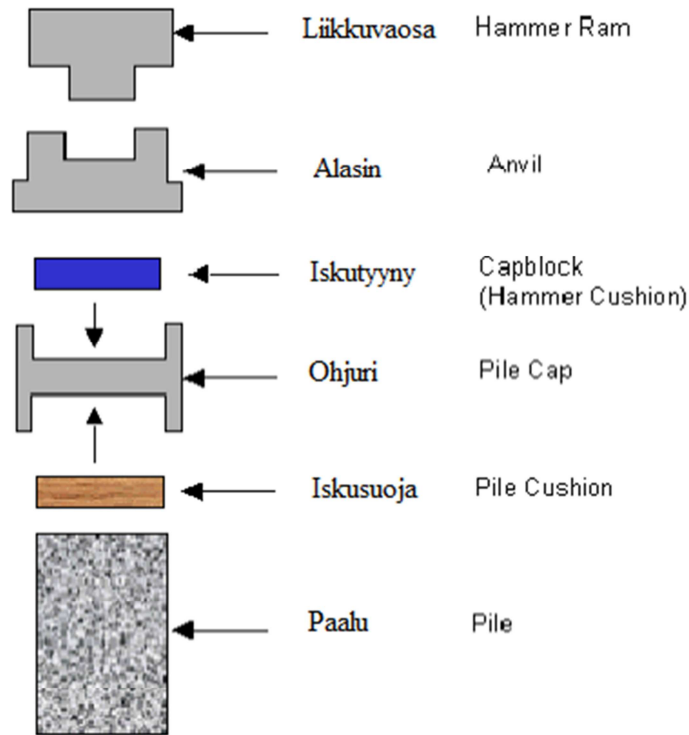
Venymäanturi ei saa olla valmiiksi liiallisessa vedossa tai puristuksessa ennen mittauksen aloitusta, kun anturi on kiinnitetty paaluun. Tämä tarkistetaan ennen mittauksen aloitusta mittalaitteen offset-testillä. Mittauksissa voi tulla virheellisiä tuloksia ja venymäanturit voivat rikkoutua, jos anturit ovat valmiiksi liiallisessa vedossa tai puristuksessa. Anturit asennetaan paaluun kohtisuoraan toisiaan vasten, paalun pysty akselin suuntaisesti. Anturit asennetaan vähintään $1,5 \cdot D$ etäisyydelle paalun yläpäästä, jolloin lyönistä aiheutuneet jännitykset ehtivät tasoittua paalussa. Kuvassa 5.3 on havainnollistettu, mihin kohtaan paalua anturit asennetaan. Neliskulmaiseen paalun anturit asennetaan vastakkaisille tahkoille samojen sääntöjen mukaisesti.



Kuva 5.3. Mittausantureiden kiinnityspaikat paalussa. Perustuu lähteisiin (ASTM D 4945 2013; Pile Dynamics, Inc 2000).

Tavallisesti anturit kiinnitetään paaluun pulteilla tai liimalla. Teräsputkipaaluihin porataan reiät pultteja varten ja reikiin tehdään kierteet. Teräsbetonipaaluihin porataan reiät, joihin asennetaan lyöntiankkurit. Anturit kiinnitetään paaluun riittävän tiukasti, jotta anturit eivät luista lyöntilaitteella iskettäessä. Mittaustuloksista tulee virheellisiä, jos anturit luistavat paalun pinnalla paalua lyöessä.

Dynaamisessa koekuormituksessa tarvittavan iskuaallon aikaansaamiseksi suositellaan käytettävän pudotusjärkelettä (RIL-254 2011). Hydraulijärkelettä voidaan käyttää myös iskuaallon aikaansaamiseen, mutta hydraulijärkeleiden pudotuskorkeus on rajallinen, jolloin geoteknisen murtokestävyyden mobilisoiminen voi olla vaikeaa. Paineilma- ja hydraulivasaroita ei suositella käytettäväksi iskuaallon aikaansaamiseen dynaamisissa koekuormituksissa (RIL-254 2011). Kuvassa 5.4 on esitetty lyöntilaitteen osat.



Kuva 5.4. Lyöntilaitteen osat.

Iskutyynyn tärkein tehtävä on suojata lyöntilaitetta ja samalla välittää mahdollisimman paljon energiaa paaluun. Iskutyynyn materiaalin tulisi olla sellainen, että se vaatii mahdollisimman vähän ylläpitoa ja kestää pitkään. Iskutyynymateriaalina käytetään normaalisti nylonia. Iskutyyny hajoaa korkeassa lämpötilassa, eikä enää suojaa järkelettä. Hajoanut iskutyyny ei myöskään välitä energiaa paaluun yhtä hyvin kuin ehjä iskutyyny. (Whitty & Engler 2004). Iskutyyny parantaa myös paalun uppoamista maahan, kun iskusta tulee pitkäkestoisempi. Dynaamisen koekuormituksen kannalta pitkäkestoisempi isku on parempi, kun pystytään mobilisoimaan suurempia kuormia.

Iskusuojamateriaalina käytetään yleensä koivupuuta. Myös vaneria on käytetty iskusuojana, mutta vanerin käytöstä on luovuttu, kun se ei kestä samalla tavalla kuin koivupuinen iskusuoja. Yksi iskusuojan keskeisistä tehtävistä on rajata ja tasoittaa epäkeskeisestä lyönnistä aiheutuvia suuria reunajännityksiä paalussa (RIL-254 2011). Toinen iskusuojan keskeisistä tehtävistä on vaimentaa liikkuvan osan iskua, mutta samalla siirtää mahdollisimman paljon energiaa paaluun (Whitty 2005). Iskujen seurauksena is-

kusuoja lämpiää ja alkaa palaa, jolloin sen paalua suojaavat ominaisuudet heikkenevät ja iskusuoja on vaihdettava uuteen.

5.2.2 Iskuaaltoteoria

Iskuaaltoteoriassa paalu mallinnetaan suorana äärettömän pitkänä sauvana. Sauvan poikkileikkaus on vakio ja materiaali isotrooppinen. Kuormituksessa sauvan poikkileikkaustasojen ajatellaan säilyvän samansuuntaisina tasoina ja aksiaalijännitykset jakautuvat tasaisesti koko poikkileikkaukselle. Tarkastelussa poikittaissuuntaisia hitausefektejä ei oteta huomioon, koska iskuaaltoteoriassa tarkastellaan vain 1-ulotteisia aksiaalisia jännityksiä ja muodonmuutoksia (Riihimäki 2005).

Dynaamisten koekuormitusten mittaustietoja voidaan analysoida CASE-menetelmällä tai CAPWAP:lla (CAPWAP, Case Pile Wave Analysis Program). PDA-ohjelmisto (PDA, Pile Driving Analyzer) käyttää CASE-menetelmää laskiessaan paalun staattista vastusta, paalun ehjyyttä, lyöntijännityksiä ja paalun välittynyttä energiaa. CAPWAP on monimutkaisempi numeerinen laskentamenetelmä. (Hanningan et al. 1998). CAPWAP:ia on käsitelty tarkemmin alaluvussa 5.3.

Kolme yleisintä CASE-menetelmän mukaista estimaattia paalun geoteknisen kestävyyslaskentaan ovat: Standard Case Method (RSP), Maximum Case Method (RMX) ja Unloading Method (RSU). Estimaatit perustuvat samoihin peruskaavoihin ja oletuksiin, mutta estimaatit on kehitetty vastaamaan erilaisia laskentatilanteita.

Standard Case Method (RSP) käytettäessä paalun staattinen ja dynaaminen vastus, RTL, lasketaan kaavalla

$$RTL = \frac{F(t_1) + F(t_2)}{2} + \left[\frac{V(t_1) - V(t_2)}{2} \right] \frac{EA}{c} \quad (5.1)$$

missä

RTL = kokonaislyöntivastus

F = voima mittauspisteessä

t_1 = iskun ajankohta

t_2 = paalun kärjestä heijastuneen aallon ajankohta ($t_1 + 2L/C$)

V = partikkelinopeus

E = paalun kimmomoduuli

A_{pl} = paalun poikkileikkaus-ala

c = aallon nopeus paalumateriaalissa

Maasta kohdistuva staattinen vastus lasketaan kaavalla (5.2), jossa kokonaislyöntivastuksesta vähennetään kuormituksen nopeudesta johtuva dynaaminen osuus. RSP-metodi soveltuu hyvin suuren vaippavastuksen omaavien paalujen geoteknisen kestävyyslaskentaan.

laskentaan, mutta kärjellä kantavilla paaluilla metodi antaa usein kestävyyttä aliarvioivia tuloksia (Hanningan et al.1998).

$$RSP = RTL - J_c \left[V(t_1) \frac{EA}{c} + F(t_1) - RTL \right] \quad (5.2)$$

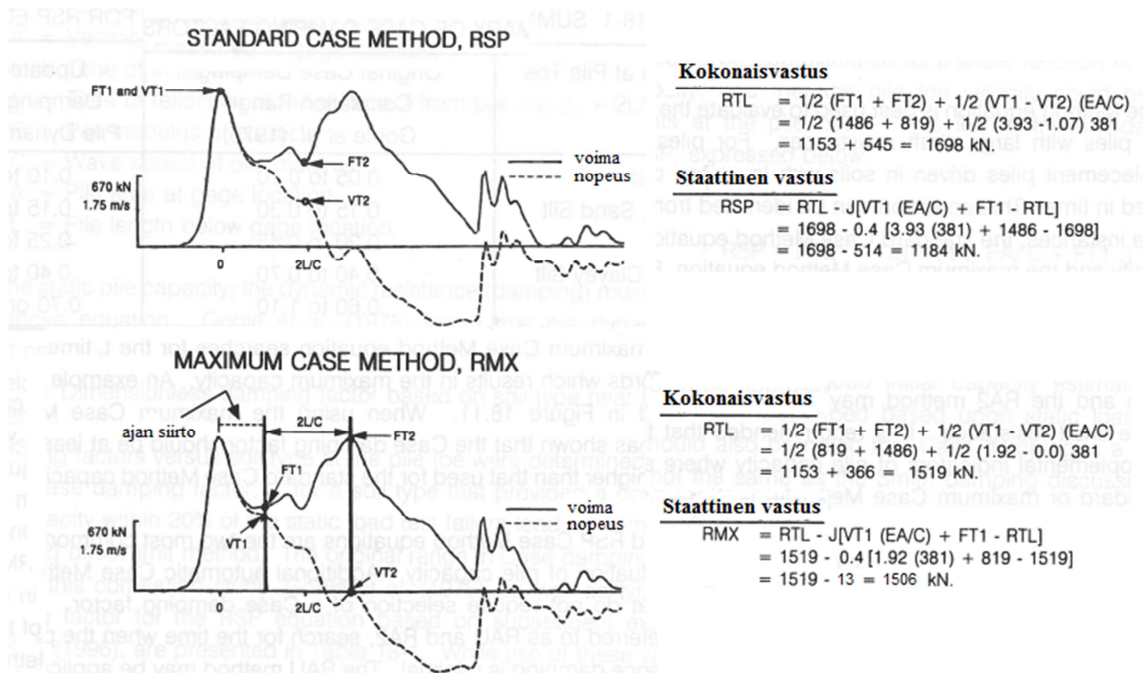
missä

RSP = staattinen vastus

J_c = CASE-menetelmän vaimennuskerroin

Staattista vastusta arvioitaessa käytetään CASE-vaimennuskertoimen tukipaaluilla vähintään arvoa 0,5 ja kitkapaaluilla vähintään arvoa 0,6 (RIL-254 2011). Avoimilla paaluilla on suositeltavaa käyttää CASE-vaimennuskertoimen arvona vähintään 0,7. Pienempiä vaimennuskertoimen arvoja voidaan käyttää, kun vaimennuskerroin kalibroidaan CAPWAP-analyysin tai staattisten koekuormitusten avulla (Hanningan et al. 1998). Yksittäisen paalun kalibroitu vaimennuskerrointa voidaan käyttää myös kohteen muilla paaluilla, jos paalut käyttäytyvät asennuksessa samalla tavalla ja pohjaolosuhteet ovat samanlaiset (RIL-254 2011).

Maximum Case Method (RMX) estimaattia käytettäessä haetaan mitatusta voima/nopeus kuvaajasta aika t_1 , jolla saadaan paalulle suurin geotekninen kestävyys. Kuvassa 5.5 on esitetty, kuinka RSP ja RMX estimaatit määritetään voima/nopeus kuvaajasta. RMX estimaattia käytetään kärjellä kantavien maata syrjäyttävien paalujen geoteknisen kestävyuden määrittämisessä. (Hanningan et al. 1998)



Kuva 5.5. RSP ja RMX estimaatit voima/nopeus kuvaajista. Perustuu lähteeseen (Hanningan et al. 1998).

Unloading Method (RSU) estimaattia käytetään, kun nopeus muuttuu negatiiviseksi ennen ajanhetkeä $2L/C$, jolloin osa paalun geoteknisestä kestävydestä jää mobilisoitumatta. Negatiivinen nopeus tarkoittaa siis vetoaalloa paalussa. Tämä huomioidaan RSU estimaatissa korjaustekijän, K , avulla

$$K = \frac{[F(t_3) - V(t_3) \left(\frac{EA}{c}\right) - F(t_1) + V(t_1) \left(\frac{EA}{c}\right)]}{2} \quad (5.3)$$

$$RSU = RTL + K - J_c \left[V(t_1) \frac{EA}{c} + F(t_1) - RTL - K \right] \quad (5.4)$$

missä

K = korjaustekijä

$t_3 = (2t_1 + 2L/C - t_{0;c})$

$t_{0;c}$ = aika, kun nopeus on nolla (ennen $2L/C$)

Korjaustekijän K avulla lisätään puolet vetoaallon vaikutusalueen geoteknisestä kestävydestä estimaatin kaavaan (Pile Dynamics, Inc 2000). RSU estimaattia joudutaan käyttämään yleensä pitkillä kitkapaaluilla, jotka kantavat pääosan kuormasta vaippavas-
tuksen välityksellä.

5.2.3 Dynaamisen koekuormituksen käyttösovellukset

Dynaamisessa koekuormituksessa voidaan laskea iskusta aiheutuneet puristus- ja vetojännitykset paalussa. PDA-ohjelmisto laskee automaattisesti lyönnin aiheuttamat jänni-

tykset paalussa, kun ohjelmaan on syötetty tarvittavat tiedot paalusta. Paaluun asennettujen venymäantureiden mittaustietojen perusteella voidaan sanoa, onko iskulaite lyönyt keskeisesti paaluun. Keskeisellä iskulla tarkoitetaan paalun koko pään pinta-alaan kohdistuvaa, paalun akselin suuntaista iskuä. Tarvittaessa paalutuskoneen keilin kallistusta muutetaan, jotta paalua ei lyödä epäkeskeisesti. Epäkeskeinen lyönti aiheuttaa paalussa korkeita reunajännityksiä, jotka pahimmassa tapauksessa voivat vaurioittaa paalua. Paalun tulee kestää lyönnistä aiheutuneet jännitykset rakenteen rikkoutumatta.

Paaluun kohdistuva lyöntivoima paalua asennettaessa on rajoitettu siten, että paalu ei vaurioituisi asennuksessa. Paalun geotekninen kestävyys on rajoitettu siten, että se on korkeintaan yhtä suuri kuin suurin sallittu lyöntivoima kyseisessä paalutustyöluokassa. Taulukossa 8 on esitetty eri paalumateriaalien suurin sallittu lyöntivoima ja sallitut geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvot. Paalutustyöluokka määräytyy seuraamusluokan ja geoteknisen luokan mukaan. Taulukossa 7 on esitetty paalutustyöluokat.

Taulukko 7. Paalutustyöluokat (RIL-254 2011)

Geotekninen luokka, ks. kohta 2.3	Seuraamusluokka, ks. SFS-EN 1990		
	CC1	CC2	CC3
GL1*	PTL1...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL2...(PTL3)
GL2	PTL1...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL3
GL3	PTL2...(PTL3)	PTL2...(PTL3)	PTL3

Taulukko 8. Suurimmat sallitut lyöntijännitykset ja geoteknisen kestävyysominaisarvot (RIL-254 2011).

Paalun materiaali	Suurin sallittu puristusrasituksen aikaansaava keskeinen lyöntivoima asennettaessa $F_{c;lyönti}$	Suurin kestävyysominaisarvo $R_{k;geo;max}$
Teräspaalu	$\leq 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s$	PTL3: $R_{k;geo;max} \leq F_{c;lyönti}$ PTL2: $R_{k;geo;max} \leq 0,8 \cdot F_{c;lyönti}$ PTL1: $R_{k;geo;max} \leq 0,6 \cdot F_{c;lyönti}$
Teräsbetonipaalu	$\leq 0,8 \cdot f_{ck} \cdot A_c^a$	PTL3: $R_{k;geo;max} \leq F_{c;lyönti}$ PTL2: $R_{k;geo;max} \leq 0,8 \cdot F_{c;lyönti}$ PTL1: $R_{k;geo;max} \leq 0,6 \cdot F_{c;lyönti}$
Puupaalu	$\leq 0,8 \cdot f_{c,0,k} \cdot A_{min}$	PTL3: Ei käytetä PTL2: $R_{k;geo;max} \leq 0,8 \cdot F_{c;lyönti}$ PTL1: $R_{k;geo;max} \leq 0,6 \cdot F_{c;lyönti}$

taulukossa

$F_{c;lyönti}$ = puristusrasitus

$R_{k;geo;max}$ = geoteknisen kestävyysominaisarvo

f_{yk} = teräksen puristuslujuuden ominaisarvo

f_{ck} = betonin puristuslujuuden ominaisarvo

$f_{c,0,k}$ = puun puristuslujuuden ominaisarvo syiden suunnassa

A_s = teräksen poikkileikkausala

A_c = betonin poikkileikkausala

A_{min} = puun minimi poikkileikkausala

Paalun dynaamisessa koekuormituksessa saadaan jokaisen lyönnin aiheuttama jännitys paalussa selville, jolloin paalumateriaalille ominaista sallittua lyöntivoimaa voidaan korottaa. Dynaamisesta koekuormitusta tehtäessä teräksen ominaislujuutta, f_{yk} , voidaan korottaa kertoimella 1,2. Betonilla ja puulla puristuslujuutta voidaan Dynaamisessa koekuormituksessa korottaa kertoimella 1,1 (RIL-254 2011).

Teräsbetonipaalujen jatkoksien lyöntikestävyys on osoitettava standardin SFS-EN 12794 mukaisen lyöntikokeen avulla. Myös teräspaalut, joissa on mekaanisia jatkoksia, joudutaan testaamaan lyöntikokeiden avulla. Vetovoiman suurin sallittu arvo jatkamattomilla teräsbetoni- ja teräspaaluilla kaikissa paalutustyöluokissa on

$$F_{t,lyönti} \leq 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A_s \quad (5.5)$$

missä

$F_{t,lyönti}$ = vetorasitus

Dynaamisella koekuormituksella voidaan määrittää myös paalun ehjyys. Mikäli paalurakenne on vaurioitunut, vaurion paikka ja suuruus voidaan määrittää mittaustiedoista. Ehjyydenmittauksella saadaan luotettavasti selville vain suuret vauriot paalurakenteessa (Liikenneviraston ohjeita 6/2011).

Dynaamisen koekuormituksen tärkein käyttösovellus on paalun geoteknisen kestävyysmääritys. Dynaamisella koekuormituksella saadaan selville paalun geotekninen kestävyys *mittaushetkellä* (Hanningan et al. 1998). Geoteknisen kestävyysmuutoksia voidaan arvioida koekuormittamalla paaluja myöhemmin uudelleen ja vertaamalla tuloksia aikaisempien mittauskertojen tuloksiin.

Loppulyöntiehdot voidaan määrittää dynaamisen koekuormituksen perusteella, kun paalutustyön alussa mitataan eri loppulyöntipainumiin asennettuja paaluja. Dynaamisilla koekuormituksilla määritettyä loppulyöntiehtoa voidaan käyttää hankkeen muilla paaluilla samankaltaisissa pohjaolosuhteissa. Loppulyöntiehdon määrittämisellä voidaan säätää iskuenergia, paalujen lyöntivastus ja paalupituudet lähelle optimaalista välttämällä paalujen liiallista lyömistä.

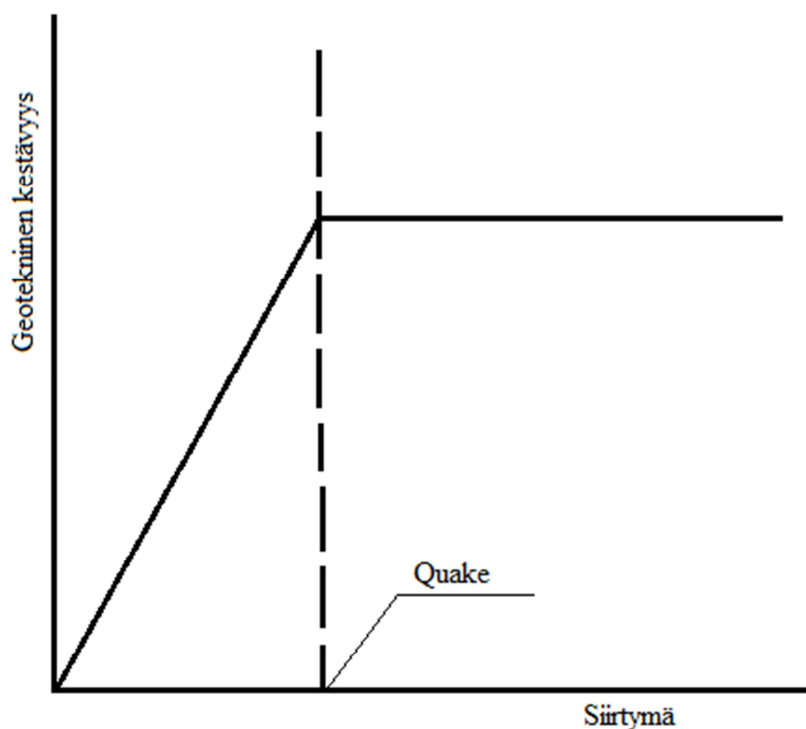
Mittaustuloksista voidaan laskea lyöntikaluston lyönnistä paaluun välittynyt energia, jolloin lyöntikaluston tehokkuus voidaan määrittää, kun tiedetään järkäleen massa ja

pudotuskorkeus. Myös iskusuojassa ja -tyynyssä tapahtuvien muutoksien vaikutusta voidaan arvioida, kun tiedetään lyönnistä paaluun välittynyt energia.

5.3 Signaalinmallinnus

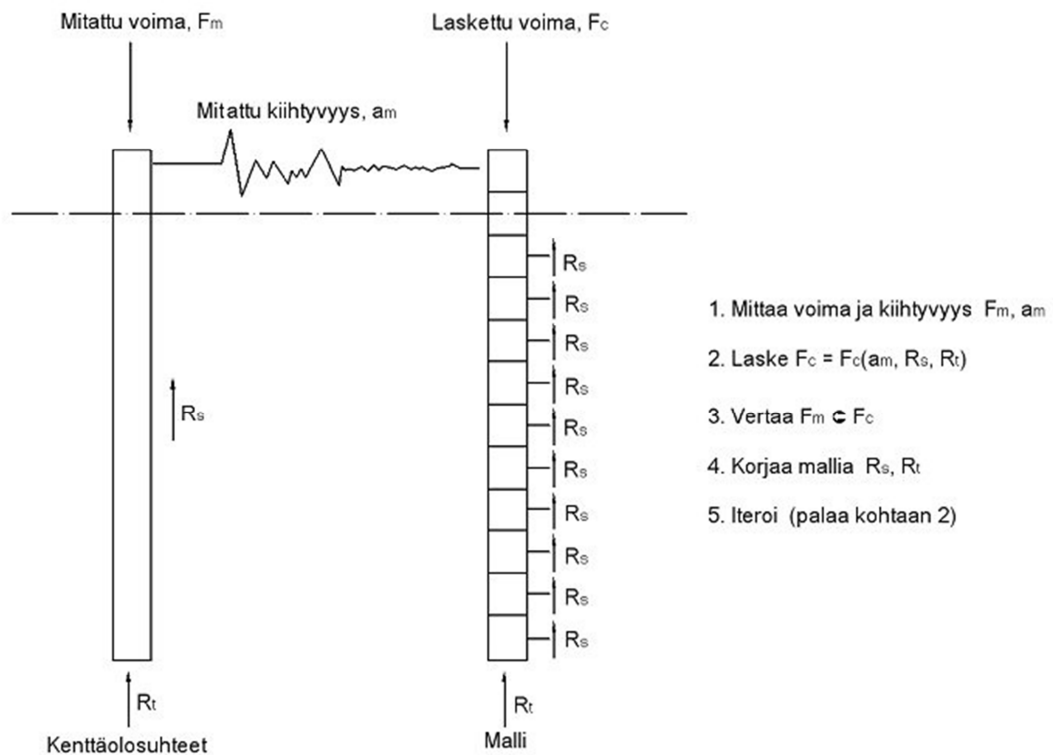
Signaalinmallinnuksessa dynaamisen koekuormituksen mittaustietoja analysoidaan ja jalostetaan tietokoneohjelman avulla. Signaalinmallinnus voidaan tehdä esimerkiksi CAPWAP:lla (CAPWAP, CAsE Pile Wave Analysis Program) (Pile Dynamics, Inc 2000). Muita signaalinmallinnusohjelmia on TNOWAVE ja SIMBAT, mutta tässä työssä on perehdytty ja käytetty CAPWAP:ia.

CAPWAP:lla voidaan arvioida paalun geoteknistä kestävyyttä, maan vastuksen jakautumista paalun vaipalle ja kärjelle sekä määrittää quake-arvo ja CASE-menetelmän vaimennuskerroin (Hanningan et al. 1998). Quake-arvo tarkoittaa täyden geoteknisen murtokuorman mobilisoitumiseen vaadittavaa paalun siirtymää, jonka jälkeen muodonmuutokset muuttuvat elastisista plastisiksi. Quake-arvo on havainnollistettu kuvassa 5.6. CAPWAP:ssa paalun vaipalle ja kärjelle on omat quake-arvot. Kärjen quake on kärjen alapuolisen materiaalin kimmainen siirtymä, ja se on aina suurempi kuin 0. Vaipan quake on vaippaa ympäröivän maan kimmainen siirtymä. Vaipan quake-arvo on normaalisti 2,5 - 5 mm ja maksimissaan 10 mm (Pile Dynamics, Inc 2000). CAPWAP:ssa voidaan käyttää CASE-menetelmän vaimennuskerrointa, J_c , tai paalun kärjelle ja vaipalle erikseen määritettyjä Smithin vaimennuskertoimia, J_s .



Kuva 5.6. Quake-arvo havainnollistettuna geotekninen kestävyys – siirtymä-kuvaajassa. Perustuu lähteeseen (Pile Dynamics, Inc 2000 PDA-W Users Manual).

CAPWAP-analyysissä luodaan matemaattinen malli iskuaaltotapahtumasta. Analyysissä paalu mallinnetaan jatkuvina paalusegmentteinä ja maa mallinnetaan jousina ja vaimentimina. Jouset kuvaavat maan staattista vastusta ja vaimentimet dynaamista vastusta (Hanningan et al. 1998). CAPWAP-analyysi on iteratiivinen prosessi, jossa maamallin tekijöitä muokkaamalla pyritään jäljittelemään mahdollisimman tarkasti iskuaaltotapahtumaa. Analyysin lopussa mitatun ja lasketun voiman tulisi vastata toisiaan riittävällä tarkkuudella. Analyysin kulku on esitetty kuvassa 5.7.

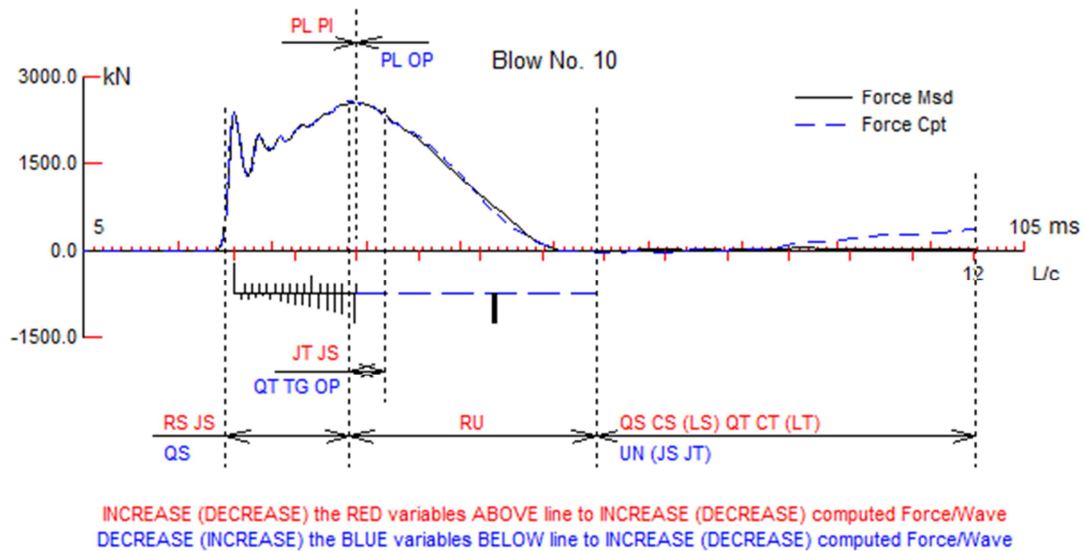


Kuva 5.7. CAPWAP-analyysin kulku (Riihimäki 2005).

Kuvan 5.7 prosessi etenee siten, että ensin mitataan kentällä voima ja kiihtyvyys iskusta, jonka jälkeen ohjelmistolla lasketaan voima. Kenttämittaukset ovat lähtötietona ohjelmistolla laskettaessa. Kenttämittauksissa saadun mittaussignaalin on oltava laadultaan riittävän hyvää, jotta CAPWAP-analyysistä voidaan saada tarkkoja tuloksia. Geoteknisen kestävyysjakautumista vaipalle ja kärjelle muutetaan, jotta mitattu ja laskettu voima saadaan vastaamaan toisiaan. CAPWAP-analyysissä voidaan mallintaa voimakuvaajan sijasta myös nopeus- ja wave up-kuvaajaa. Yleensä analyysissä pyritään mallintamaan voima- tai wave up-kuvaajaa.

Vastaavuutta pyritään parantamaan myös laskentaparametreja muuttamalla. Tärkein tekijä hyvän vastaavuuden saamiseen on kuitenkin geoteknisen kestävyysjakautuminen kärjelle ja vaipalle. Muunneltavia laskentaparametreja ovat: CASE-vaimennuskerroin vaipalle ja kärjelle, Smithin vaimennuskerroin vaipalle ja kärjelle, vaipan ja kärjen quake-arvot, negatiivisen vaippahankauksen raja-arvoa, vaippa- ja kärkivastuksen palautumiskerroin ja lisäksi monia muita laskentamalliin vaikuttavia para-

metreja. Kuvassa 5.8 on esitetty näkymä CAPWAP:sta. CAPWAP:ssa on mahdollista ottaa käyttöön toiminto joka osoittaa, mihin osioon mallinnettavaa kuvaajaa eri parametrien varioiminen vaikuttaa.



Kuva 5.8. Näkymä CAPWAP-ohjelman ruudusta. CAPWAP-analyysissä varioitavat parametrit vaikuttavat kuvaajan eri osioihin.

CAPWAP antaa mitatulle ja lasketulle voimalle vastaavuusarvon, joka ilmaisee, kuinka hyvin laskettu arvo vastaa mitattua arvoa. Normaalisti alle 2 vastaavuusarvo on hyvä. Iterointi lopetetaan, kun vastaavuusarvo ei enää parane parametreja muuttamalla. Yleensä hyvällä mittaussignaalilla saadaan myös hyvä vastaavuusarvo. Teräsbetonipaalojen vastaavuusarvot ovat yleensä huonompia kuin teräspaaluilla varsinkin, jos teräsbetonipaalut ovat jatkettuja. Teräsbetonipaalojen jatkokset täytyy mallintaa erikseen CAPWAP-analyysissä. Teräsbetoni on materiaalina paljon epähomogeenisempää kuin esimerkiksi teräs ja aallonnopeus saattaa vaihdella paalupituudella huomattavasti. Aallonnopeuden vaihtelu voi johtua esimerkiksi paaluelementtien eriävistä valupäivistä. Aallonpituuden vaihdellessa täytyy dynaamisessa koekuormituksessa tehdä kompromissi ja käyttää aallonnopeutta, joka parhaiten sopii mittausdataan.

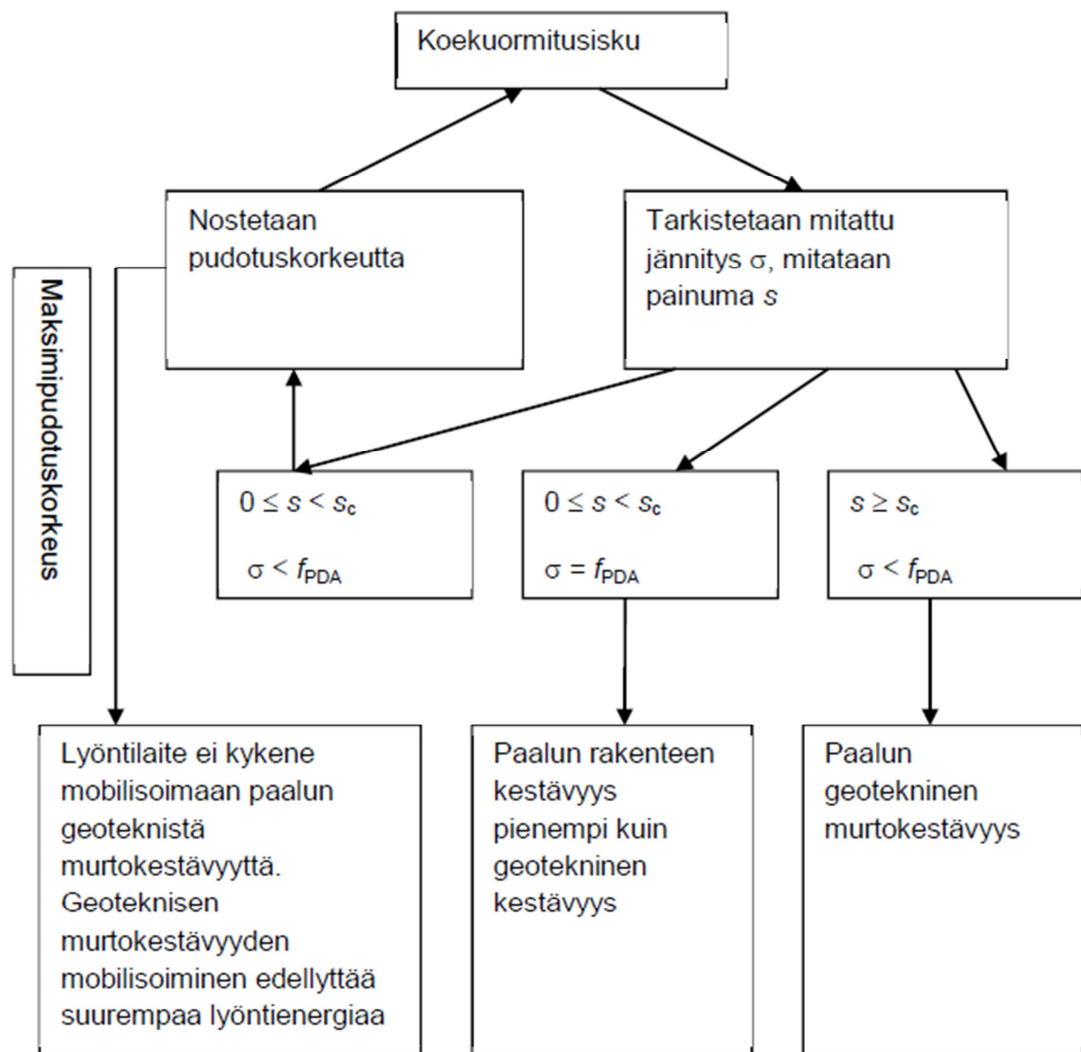
Signaalinmallinnusta tehtäessä on käytössä oltava riittävät pohjatutkimustiedot, jotta mallinnuksen tuloksen oikeellisuutta voidaan arvioida. CAPWAP-analyysistä saadaan myös paalun kuorma-painumakäyttäytymistä mallintava kuvaaja.

5.4 Geotekninen puristuskestävyys dynaamisen koekuormituksen perusteella

Eurokoodi 7 mukaan dynaamiset koekuormitustulokset tulee kalibroida suhteessa staattisiin koekuormitustuloksiin, jonka jälkeen voidaan käyttää pelkästään dynaamisia koekuormituksia koko rakennuspaikalla samankaltaisissa pohjaolosuhteissa (Orsetti & Rosa 2012). Suomalaisten paalutusohjeiden mukaan dynaamisten koekuormitusten avulla

voidaan suoraan määrittää paalun puristuskestävyys ilman staattisten koekuormitusten tekemistä, edellyttäen että saatavissa on riittävät pohjatutkimustiedot (RIL-254 2011). Dynaamiset koekuormitustulokset pätevät vain mittauskohteessa, eikä tuloksia voida käyttää muissa paikoissa (Svinkin 2012).

Dynaamisen koekuormituksen periaate on esitetty kuvassa 5.9. Dynaamisessa koekuormituksessa paaluun kohdistetaan koekuormitusisku, jonka aiheuttamia jännityksiä verrataan paalumateriaalin sallittuihin jännityksiin. Samalla mitataan iskun aiheuttama painuma. Painuman suuruudesta voidaan päätellä, onko geotekninen murtokestävyys mobilisoitunut.



Kuva 5.9. Dynaamisen koekuormituksen periaate. Paalutusohjeessa (2011) on esitetty murtokestävyyden mobilisoitumiselle painuma-arvoksi, $s_c \geq d/120$. Perustuu lähteeseen (RIL-254 2011).

Mikäli koekuormitusiskulla ei pystytä mobilisoimaan paalun geoteknistä murtokestävyyttä ja jännitykset ovat alle materiaalin maksimijännityksen, nostetaan järkeleen pudotuskorkeutta, kuten kuvassa 5.9 on esitetty. Lopulta voi tulla tilanne, että kevyemmil-

lä lyöntilaitteilla ei pystytä mobilisoimaan paalun geoteknistä murtokestävyyttä. Mahdollisuutena on hankkia koekuormituksia varten lyöntilaite, jolla pystytään tuottamaan suurempi lyöntienergia. Tavoitteena onkin hankkia koekuormituksia varten valmiiksi lyöntilaite, jolla pystytään varmasti tuottamaan tarvittava lyöntienergia dynaamista koekuormitusta varten. Muissa tapauksissa mitoittavaksi tekijäksi tulee paalun geotekninen murtokestävyys tai paalun rakenteellinen kestävyys.

Paalun geoteknisen kestävyyskasvua ajan suhteen selvittäessä kärkekestävyyttä ei saada välttämättä mobilisoitua ensimmäisillä koekuormitusiskuilla seisona-ajan jälkeen, jos vaippakestävyys on kasvanut merkittävästi. Tällöin voidaan lisätä EOD kärkekestävyys RS vaippakestävyyteen, jolloin paalun todellinen geotekninen puristuskestävyys saadaan selville. (Goble 2008). Tällä menettelyllä paalun geotekninen puristuskestävyys on vain suuntaa antava, eikä sitä voida käyttää sinällään. Vasta CAPWAP-analyysillä voidaan varmistaa kärjen ja vaipan osuus kestävyydestä.

Paalun geotekninen puristuskestävyys määritetään dynaamisten koekuormitusten perusteella kaavoilla

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_t \quad (5.6)$$

$$R_{c;k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c;m})_{\text{mean}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c;m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\} \quad (5.7)$$

missä

$R_{c;k}$ = geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo

$R_{c;m}$ = R_c :n mitattu arvo

ξ_5 = korrelaatiokerroin, joka kohdistetaan mitatun $R_{c;m}$ keskiarvoon

ξ_6 = korrelaatiokerroin, joka kohdistetaan mitatun $R_{c;m}$ minimiarvoon

Korrelaatiokertoimen valintaan vaikuttaa lukumäärä n , joka on samanlaisissa pohjaolosuhteissa koekuormitettujen samanlaisten paalujen lukumäärä tai vaihtoehtoisesti koekuormitettujen paalujen prosenttiosuus kokonaismäärästä. Näistä valitaan se, jolla saadaan pienempi korrelaatiokerroin. Taulukossa 9 on esitetty korrelaatiokertoimet.

Taulukko 9. Korrelaatiokertoimet dynaamiselle koekuormitukselle. Perustuu lähteeseen (SFS-EN 1997-1 NA 2010).

n^*	2–4/1–4 %	5–9/5–39 %	10–14/40–64 %	15–19/65–89 %	$\geq 20/90–100$ %
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

Korrelaatiokertoimet voidaan jakaa kertoimella 1,1, jos rakenne on riittävän jäykkä ja luja siirtämään kuormat heikoilta paaluilta vahvoille. Liikenneviraston ohjeen NCC17 mukaan ”Sillan tukien peruslaatat ovat yleensä riittävän jäykkiä ja lujia siirtämään

kuormia ”heikoilta” paaluilta ”vahvoille” paaluille. Tällöin kertoimet ξ_5 ja ξ_6 voidaan jakaa luvulla 1,05, kun tuki on perustettu vähintään 8 paalun varaan, luvulla 1,10, kun tuki on perustettu vähintään 16 paalun varaan. Tämä koskee myös muita riittävän jäykkiä taitorakenteita, joissa vaakakuormat otetaan aksiaalisilla paaluvoimilla. Paalulaatoilla tätä reduktiota ei voida tehdä” (Liikenneviraston ohjeita 35/2013 s. 53).

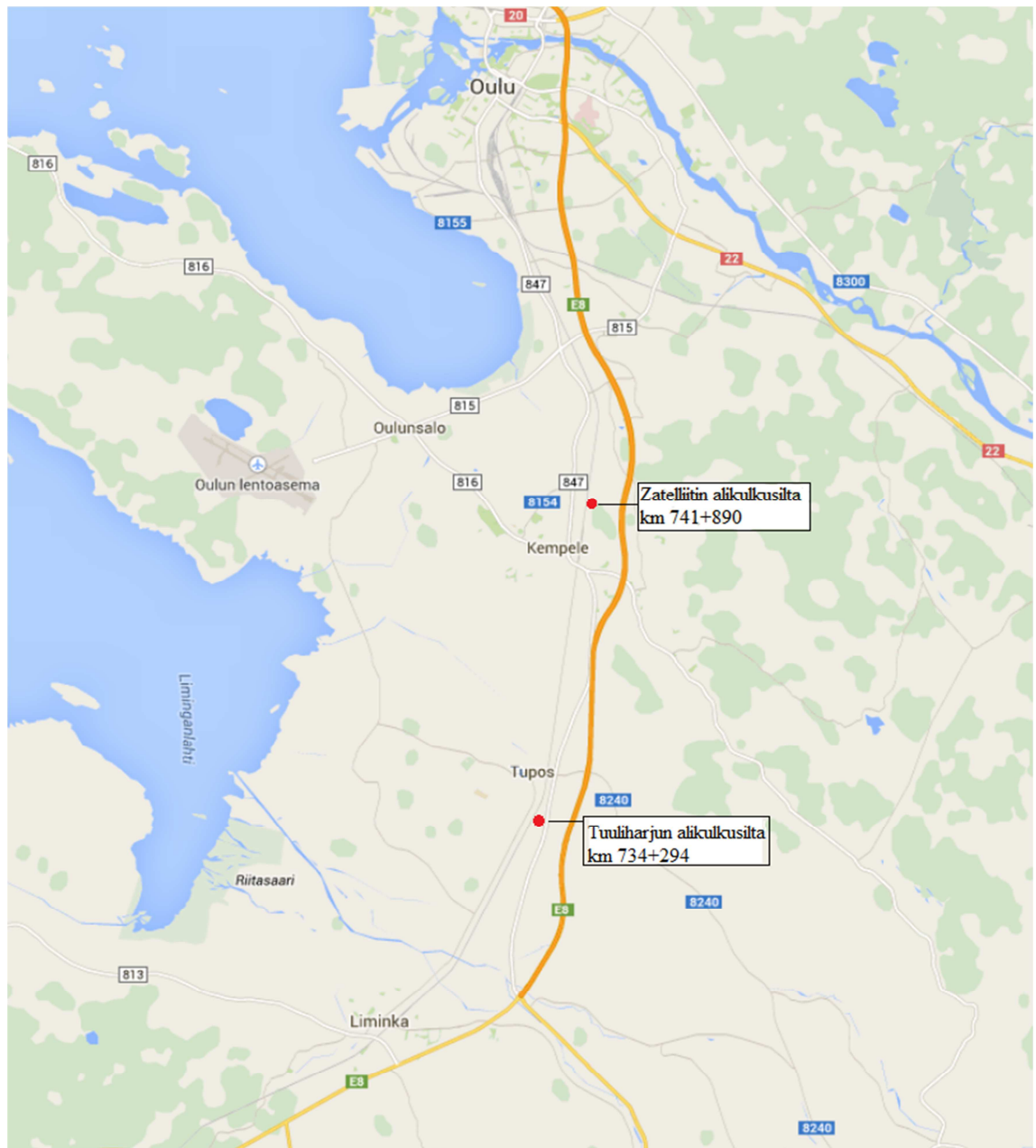
Korrelaatiokertoimet kerrotaan lisäksi mallikertoimella 1,05, jos paalupituudet vaihtelevat voimakkaasti tai koekuormitetaan kitkapaaluja. Lisäksi korrelaatiokertoimet voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, silloin kun paalut tukeutuvat luotettavasti kallioon ja kestävyys riippuu paalun rakenteesta tai kun käytetään signaalinsovitusta. (SFS-EN 1997-1 NA 2010).

6. KOEKOHTEIDEN ESITTELY

6.1 Yleisesittely

Koekohteita ovat Zatelliitin ja Tuuliharjun alikulkusiltapaikat, joilla suoritetaan koepaalu-
lutukset ennen varsinaisten siltapaalujen mitoittamista. Siltojen rakentaminen kuuluu
osana suurempaa Seinäjoki-Oulu ratahanketta ja tarkemmin sillat sijoittuvat rataosuus-
delle Liminka-Oulu. Zatelliitin alikulkusilta rakennetaan Kempeleen Muhokseen ja
Tuuliharjun alikulkusilta Limingan Tupokseen. Kuvassa 6.1 on esitetty kohteiden sijain-
ti suuremmalla karttalehdellä.

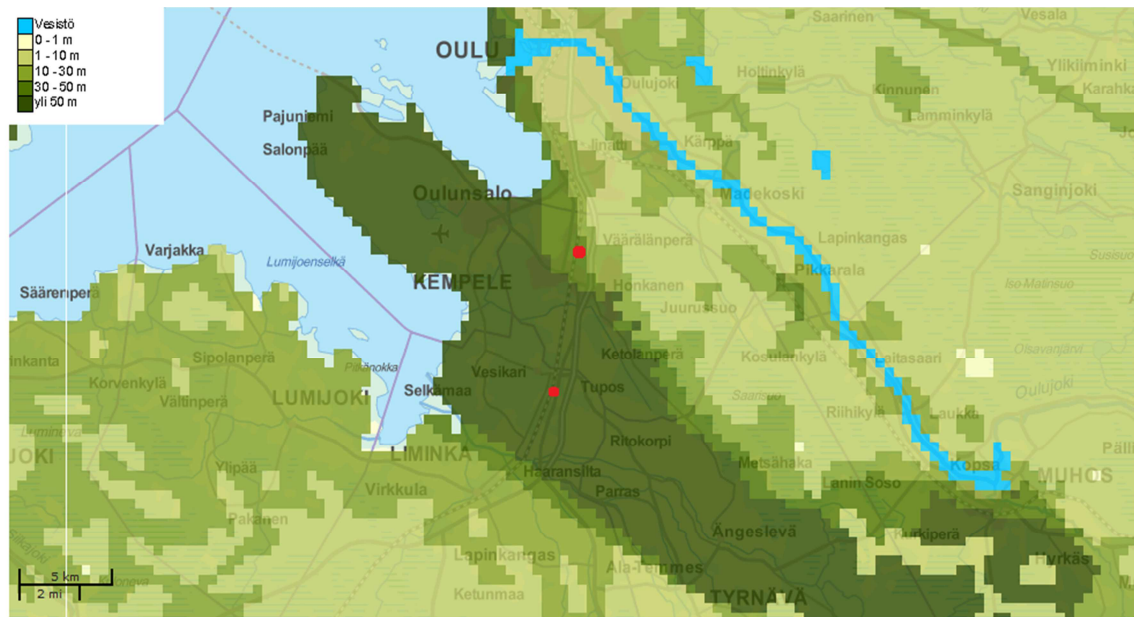
Hankkeen tilaajana toimii Liikennevirasto ja suunnittelusta vastaa VR-Track Oy. Koe-
paalutuksessa paalutusurakoitsijana toimii Maasto-Seppo Oy ja dynaamiset koekuormi-
tukset ja CAPWAP-analyysit tekee Inspecta Oy.



Kuva 6.1. Koekohteiden sijainti. Välimatka kohteiden välillä on noin 8 km (Google Maps).

Alueella on erittäin haastavat pohjasuhteet, kun maanpintaa peittää savea ja silttiä sisältävä vaihtelevan paksuinen kerros. Pintakerroksen alla on silttipitoinen kerros, joka ulottuu jopa 30 m syvyyteen. Silttikerrostuman alla on hiekkainen kerrostuma ja kantava sora- tai moreenikerrostuma sijaitsee jopa 50–60 m syvyydessä. Kalliopinta on GTK:n (GTK, Geologian tutkimuskeskus) tutkimuksien mukaan alueella jopa 60–140 m syvyydessä (Breilin & Putkinen 2012; Kalla 1960). Molemmat kohteet sijoittuvat Muhoksen muodostuman alueelle. Kuvassa 6.2 on esitetty GTK:n maapeitepaksuuskartta. Kuvan mukaan Tuuliharjussa kalliopinta on yli 50 m syvyydessä ja Zatelliitissa kalliopinta on 30–50 m syvyydessä. Kairauksien perusteella kalliopinta on Zatelliitissa

kuitenkin selkeästi syvemmällä, koska kallionpinta ei tullut vastaan vielä 67 m syvyydessäkään.



Kuva 6.2. Maapeitepaksuuskartta 1:1 000 000 koekohteiden alueelta (GTK Haku).

Molemmissa koekohteissa on tehty melko kattavasti pohjatutkimuksia monessa vaiheessa maalajien, maalajiominaisuuksien ja maakerrosrajojen selvittämiseksi. Kohteissa tehtiin heijari-, puristin-heijari- ja CPTU-kairauksia. Lisäksi kohteista otettiin häiriintyneitä ja häiriintymättömiä maanäytteitä. Molemmilla siltapaikoilla oli myös pohjavesiputket, joilla määritettiin pohjavedenpinnan taso.

Haastavien pohjasuhteiden takia kohteissa on tarkoituksena käyttää kitkapaaluja tukipaalujen sijaan, koska pohjatutkimuksien perusteella tukipaaluvaihtoehdossa tarvittavat paalumetrit olisivat kasvaneet jopa kaksinkertaisiksi verrattuna kitkapaaluvaihtoehtoon. Kohteissa paalujen voidaan olettaa uppoavan helposti syvällekin maapohjan häiriintyneessä. Tällöin tavoitetasossa ei saavuteta riittävää geoteknistä kestävyyttä välittömästi paalun asennuksen jälkeen. Paalun asennuksessa maapohja häiriintyy ja vaippavastuksen kasvuun menee aikaa.

Molemmissa koekohteissa tehdään koepaalutukset ennen varsinaisten siltapaalujen mitoittamista. Koepaalutuksesta on tarkoitus saada selville, kuinka paalujen geotekninen kestävyys kasvaa odotusaikana. Koepaalutuksien perusteella voidaan määrittää, kuinka pitkä on tarvittava odotusaika, jossa vaippavastus on kasvanut riittävästi. Kohteen paalujen geoteknistä kestävyyttä on arvioitu myös pohjatutkimustuloksien perusteella ja näiden tuloksien avulla on määritetty koepaalujen tavoitetasot.

Koepaaluina käytetään D323,9*10 mm, S440J2H, teräsputkipaaluja ja RT:n tuotelehden mukaisia (Rakennusteollisuus 2011) tb300b teräsbetonipaaluja. Teräsputkipaalut on varustettu kalliokärjellä ja teräsbetonipaalut maakärjellä. Upotussyvyyydet laskettiin kal-

lio-/maakärjen päästä alkaen. Koepaaluina käytetään sekä teräs- että teräsbetonipaaluja, jotta voidaan vertailla, kuinka paalumateriaali vaikuttaa paalun geotekniseen kestävyys-teen. Syvyys, jossa paalut saavuttavat riittävän geoteknisen kestävyys, selvitetään upottamalla koepaaluja eri tasoille.

Paaluille tehdään dynaamisia koekuormituksia ja CAPWAP-analyysyjä neljässä vaiheessa: ensimmäinen mittauskerta on paalujen asennuksen yhteydessä, toinen noin 24 h kuluttua paalujen asennuksesta, kolmas noin kahden viikon kuluttua paalujen asennuksesta ja viimeinen noin neljän viikon kuluttua paalujen asennuksesta.

Ensimmäisessä mittausvaiheessa dynaamiset koekuormitukset tehtiin osalla paaluista paalujatkoksen kohdalta ja kaikilla paaluilla tavoitetasossa. Lisäksi tavoitetasossa mitattiin paalun painuma ja jousto 10 lyönnin sarjalla ja koekuormitusiskulla. Koekuormitusiskulla tarkoitetaan tässä iskua, jolla pyritään mobilisoimaan paalun geotekninen kestävyys, mikäli se on mahdollista sallittujen jännityksien rajoissa. Jokaisen paalun viimeiselle paaluelementille tehtiin dynaamista koekuormitusta koko elementin lyönnin ajan. Ylimmäiseksi paaluelementiksi valittiin sen vuoksi mahdollisimman pitkä elementti, jotta mittaustietoa saadaan pitkältä upotusmatkalta.

Toinen mittaus tehtiin 19–31 h kuluttua paalun asennuksesta. Tässä mittauksessa paaluun kohdistettiin yksi kertalyönti, jolla saatiin paalun vaippakestävyys selville. Tämän lisäksi paalua lyötiin 1-2 kertaa, jolla oli tarkoitus mobilisoida paalun kärkikestävyys. Aina ennen varsinaista koekuormitusiskua paaluun lyötiin hyvin kevyt isku, jolla varmistettiin mittauslaitteiden toimivuus ennen varsinaista koekuormitusiskua. Todellisuudessa vaippakestävyys mobilisoituessa myös osa kärkikestävyydestä mobilisoituu, jolloin kestävyys ei voida jakaa pelkkien koekuormitustuloksien perusteella ilman CAPWAP-analyysiä.

Toisen mittausvaiheen tarkoitus on saada selville lyhyessä ajassa tapahtuva geoteknisen kestävyyskasvu, kun huokosveden ylipaine on purkautunut. 24 h tunnin aikana huokosveden ylipaineen oletetaan purkautuneen, vaikka läheisien paalujen asennus on saat- tanut hieman pitkittää paineen purkautumista.

Kolmas mittaus tehtiin 14–16 vuorokauden kuluttua paalun asennuksesta ja neljäs mittaus 27–29 vuorokauden kuluttua asennuksesta. Kolmannella ja neljännellä mittauserällä paaluun kohdistetaan kuormituslyönnit samalla tavalla kuin toisessa mittausvaiheessa. Kolmannella ja neljännellä mittauserällä oli tarkoitus saada selville paalun geoteknisen kestävyyskasvu pidemmällä aikavälillä.

Koepaalutuksesta saatujen tuloksien perusteella on tarkoitus päivittää siltasuunnitelmat paalutuksen osalta, kun tiedetään syvyys, jossa riittävä geotekninen kestävyys saavutetaan kyseisellä siltapaikalla. Lisäksi voidaan huomioida paalujen geoteknisen kestävyyskasvu, jolloin säästetään paalumetrejä ja vältytään turhalta lyöntityöltä. Myös siltapaaluille tehtävien dynaamisten koekuormitusten ajankohta voidaan optimoida aikai-

sempien koetuloksien perusteella. Nykyisen liikennöitävän raiteen läheisyydessä tehtävässä paalutuksessa tulee kuitenkin ottaa huomioon paalujen sijoittelu. Varsinaiset sil-
tapaalut täytyy sijoittaa ATU:n (ATU, Aukean tilan ulottuma) ulkopuolelle, jotta paalut
voidaan jättää viikoiksi odottamaan geoteknisen kestävyyskasvua.

Alaluvuissa 6.2 ja 6.3 on esitelty tarkemmin molemmat koekohteet. Alaluvussa 6.4 on
esitetty koepaalutuksen toteutus ja alaluvussa 6.5 on esitelty paalutuksessa ja mittauk-
sissa käytetyt laitteistot. Alaluvussa 6.6 on paalutustyön kulku ja paalujen upotukseen
tarvitut lyöntimäärät.

6.2 Zatelliitin alikulkusilta

Zatelliitin alikulkusiltapaikka sijaitsee Kempeleen Muhoksella. Alikulkusillan rakenta-
misen seurauksena aikaisemmin käytössä ollut tasoristeys poistuu käytöstä.

Siltapaikalle asennetaan eri tasoille kuusi teräsputkipaalua ja neljä teräsbetonipaalua.
Koepaalut on jaettu eteläiseen ja pohjoiseen päätyyn. Pohjoinen pääty on Oulun puolei-
nen osio ja eteläinen pääty on Seinäjoen puoleinen osio. Pohjoisen ja eteläisen päädyn
välinen etäisyys on lyhimmillään noin 42 m. Molemmissa päädyissä on kolme teräsput-
kipaalua ja kaksi teräsbetonipaalua. Paalujen keskinäinen etäisyys päädyssä on noin 5
m. Osaa koepaaluista on tarkoitus hyödyntää myöhemmin sillan taustapaalulaatoissa.
Liitteessä 1 on Zatelliitin koepaalukartta, josta paalujen sijainti käy tarkemmin selville.
Kuvassa 6.3 on esitetty Zatelliitin koepaalutustyömaa.



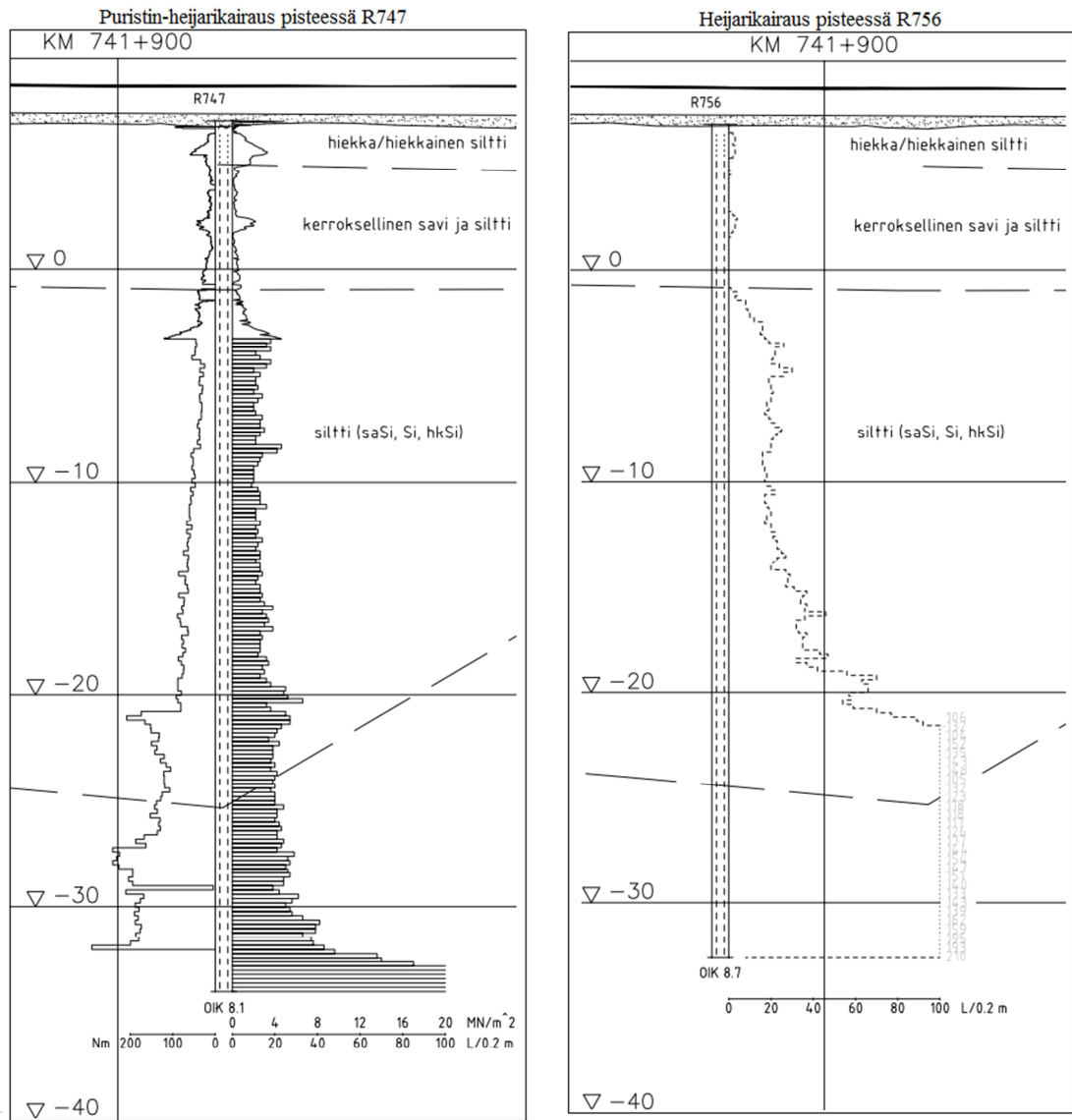
Kuva 6.3. Zateelliitin koepaaluustyömaa.

6.2.1 Pohjasuhteet

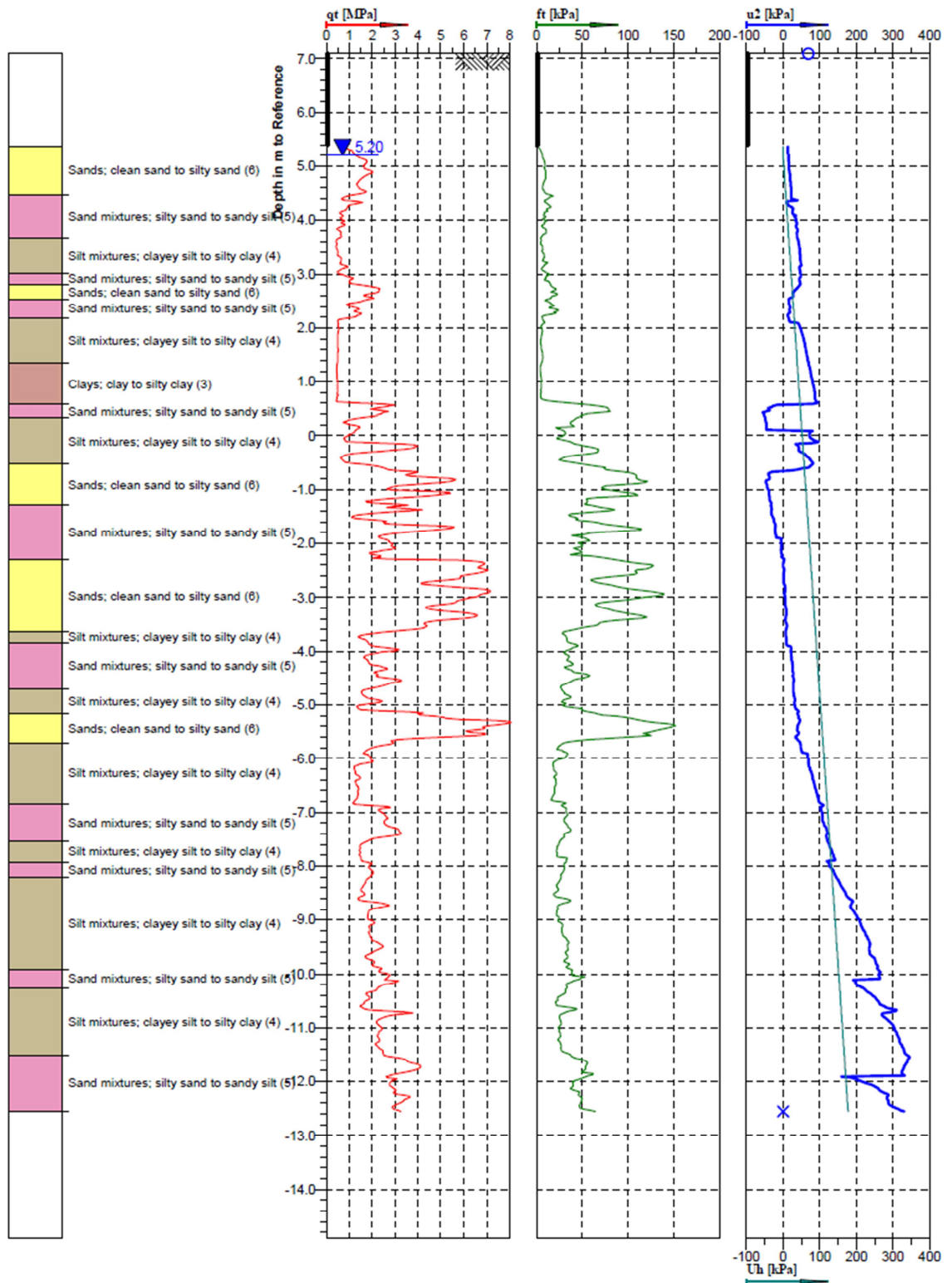
Kohteessa maanpinta on noin tasolla + 6,5 ja maasto on tasaista peltoaukeaa. Pohjavesi on noin tasossa + 5,5. Työpedin paksuus on 0,5 m, joten paalujen lyöntitaso on noin + 7. Luonnollisesta maanpinnasta alkaen on noin 2 m paksu kerros hiekkaa ja hiekaista silttiä. Tämän kerroksen alla on noin 6 m paksu kerros kerrallista savea ja silttiä.

Tasolta -1 alkaa noin 30 m paksu kerroksellinen silttikerrostuma. Kerrostuma on paikoin savinen ja paikoin hiekkainen. Kerros on alkuosalta keskitiivis ja noin 20 m syvyydeltä alkaen tiivis. Silttikerrostuman alla on noin 25 m paksu tiivis hiekkakerrostuma. Hiekkakerrostumasta ensimmäiset 15 m on hienoa hiekkaa ja loput 10 m keskihiekkaa. Hiekkakerrostuma on raekoostumukseltaan hyvin tasarakeista.

Hiekkakerroksien alta alkaa erittäin tiivis hiekkamoreeni, joka muuttuu soraiseksi tasolla -60. Näytteenotto lopetettiin tasolla -60. Liitteessä 2 on esitetty eri syvyyksiltä otettujen näytteiden laboratoriotutkimustulokset. Kuvassa 6.4 on esitetty kairausdiagrammi Zateelliitin siltapaikalla tehdystä heijari- ja puristin-heijarikairauksesta. Kairauspisteiden R747 ja R756 välinen etäisyys on 10 m. Kuvassa 6.5 on esitetty siltapaikalla tehdystä CPTU-kairauksesta saatu huokosvedenpaine, vaippa- ja kärkivastus syvyyden funktiona. CPTU-kairauspiste VR09 sijaitsi eteläisessä päädyssä ja kairauspisteen etäisyys pisteeseen R756 on 39 m ja pisteeseen R747 49 m.



Kuva 6.4. Heijari- ja puristin-heijarikairauksen kairausdiagrammit Zatelliitin siltapailta. Kairauspisteiden välinen etäisyys on 10 m.



Kuva 6.5. CPTU-kairausdiagrammi pisteestä VR09 Zatelliitin siltapaikalta. Kairauspisteen etäisyys pisteeseen R756 on 39 m ja pisteeseen R747 49 m.

Zatelliitin siltapaikalla heijarikaira tunkeutui noin tasoon -30, mutta puristin-heijarikairalla päästiin syvimmillään tasolle -56 tankoja pyörittämällä. Syvimmät puristin-heijarikairausdiagrammit on esitetty pituusleikkauksissa, jotka ovat liitteenä 1. Syvin CPTU-kairaus ulottui tasolle -17 ja se on esitetty liitteessä 3. Liitteenä 3 esitetyille

CPTU-kairauksille on tehty korjaukset kärki- ja vaippavastukselle. Heijarikairauksen ja puristinkairauksen väliset tunkeutuvuuserot johtuvat tankojen pyörytyksestä. Tangon pyörytyksellä pyritään vähentämään tankokitkaa ja tangon poikkeamista alkuperäisestä suunnasta.

Zatelliitin siltapaikalta pisteestä R571 otetuille näytteille tehtiin rasialeikkauskokeita TTY:n maalaboratoriossa. Rasialeikkauskokeet tehtiin syvyyksiltä 37–38, 42–43, 52–53 ja 62–63 m otetuille näytteille. Syvyydeltä 37–38 m otetusta näytteestä määritettiin suurimmilla leikkausjännityksillä lujuusparametreiksi kitkakulma $33,7^\circ$ ja koheesio 57,7 kPa kuivatilavuuspainon ollessa $18,5 \text{ kN/m}^3$. Syvyydeltä 42–43 m otetusta näytteestä määritettiin suurimmilla leikkausjännityksillä lujuusparametreiksi kitkakulma $36,1^\circ$ ja koheesio 38,6 kPa kuivatilavuuspainon ollessa $19,1 \text{ kN/m}^3$. Näytteestä syvyydeltä 52–53 m määritettiin kitkakulman arvoksi $39,6^\circ$ ja koheesion arvoksi 10,8 kPa sekä kuivatilavuudeksi $17,9\text{--}18,3 \text{ kN/m}^3$. Syvimmästä näytteestä syvyydeltä 62–63 m saatiin kitkakulman arvoksi $40,9^\circ$ ja koheesiolle arvo 33,4 kPa sekä kuivatilavuuspainoksi $20,2\text{--}20,6 \text{ kN/m}^3$. Rasialeikkauskokeiden tulokset on esitetty liitteessä 2.

6.3 Tuuliharjun alikulkusilta

Tuuliharjun alikulkusiltapaikka sijaitsee Limingan pohjoisosassa Tupoksessa. Myös Tuuliharjun alikulkusillan rakentamisen seurauksena aikaisemmin käytössä ollut tasoristeys poistetaan käytöstä.

Siltapaikalle asennetaan eri tasoille yhteensä viisi paalua, joista kolme on teräsputkipaalia ja 2 teräsbetonipaalia. Paalujen välinen etäisyys on noin 5 m. Tuuliharjussa koepaaluilla ei ole myöhempää käyttöä, joten paalut saavat jäädä maahan kokeiden jälkeen. Tuuliharjun koepaalukartta on esitetty liitteessä 4. Kuvassa 6.6 on esitetty Tuuliharjun koepaalutustyömaa.



Kuva 6.6. Tuuliharjun koepaalutustyömaa.

6.3.1 Pohjasuhteet

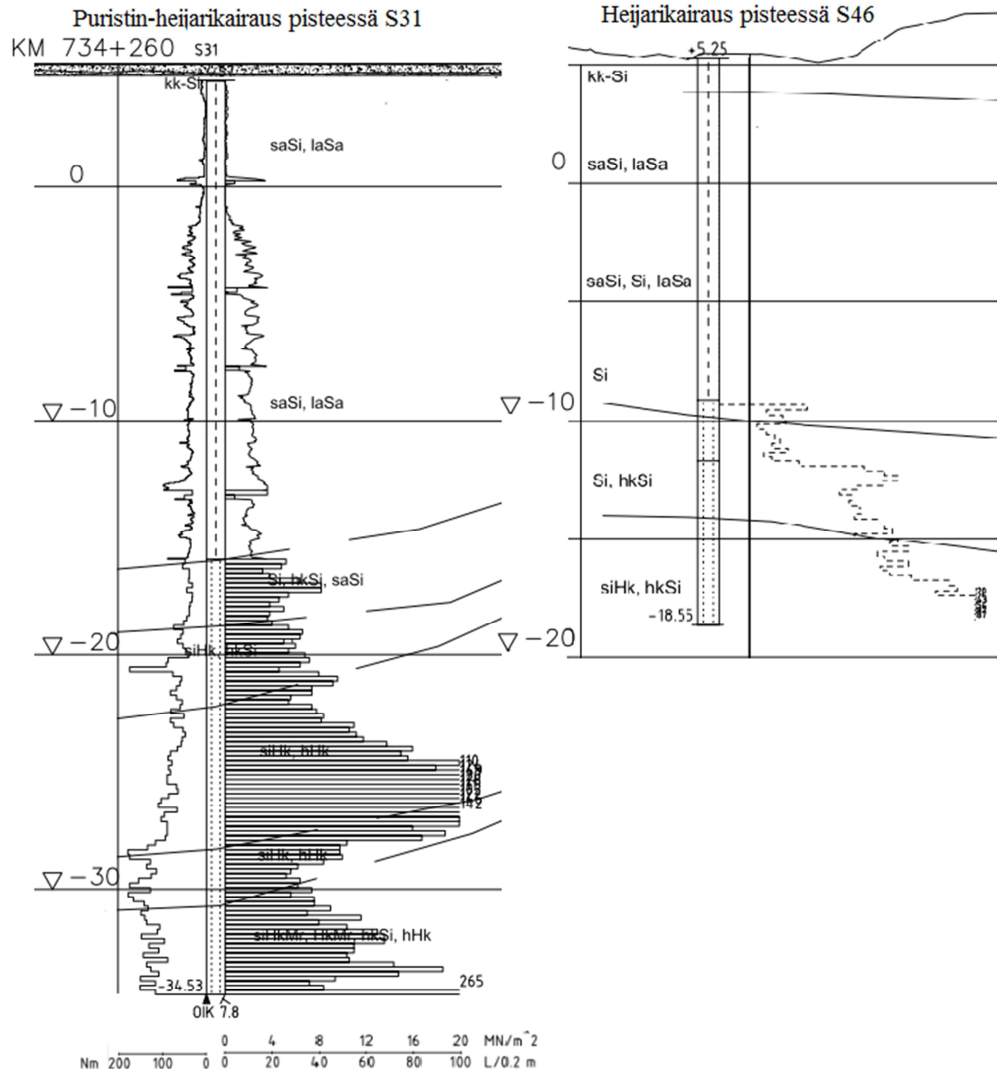
Kohteessa luonnollinen maanpinta on tasovälillä +4,9–5,6 ja pohjavesiputkesta mitattu pohjavedenpinta on 1–1,5 m maanpinnan alapuolella. Työpedin paksuus on noin 0,5 m, joten paalujen lyöntitaso on noin + 5,5. Maasto kohteessa on hyvin tasaista ja kohdetta ympäröi pelto- ja metsäalueet.

Maanpinnasta alkaen on ohut kerros pintamaata, jonka alla on noin 1,5 m paksu kuivakuorikerros hiekkaista silttiä. Kuivakuorikerroksen alla on kerros, joka sisältää silttiä, savista silttiä ja laihaa savea. Tämä kerros ohenee tasolta -20 tasolle -8 radan suunnassa pohjoista kohti mentäessä. Kerroksen paksuus ohenee tasolta -11 tasolle -5 myös länteen päin mentäessä.

Vaihtelevan paksuisen kerroksen alla on hiekkaista silttiä, silttistä hiekkaa ja hienoa hiekkaa. Tiiviys vaihtelee keskitiivistä hyvin tiiviiseen. Kerrostuma noin tasolta -25 tasolle -45 vaihtelee hiekkamoreenista, hienoon hiekkaan ja hienoon silttiin. Noin tasolta -25 tasolle -35 kerrostumat ovat tiiviitä tai hyvin tiiviitä. Poikkeuksen on 2–3 m paksu kerros hienoa hiekkaa, joka on keskitiivistä.

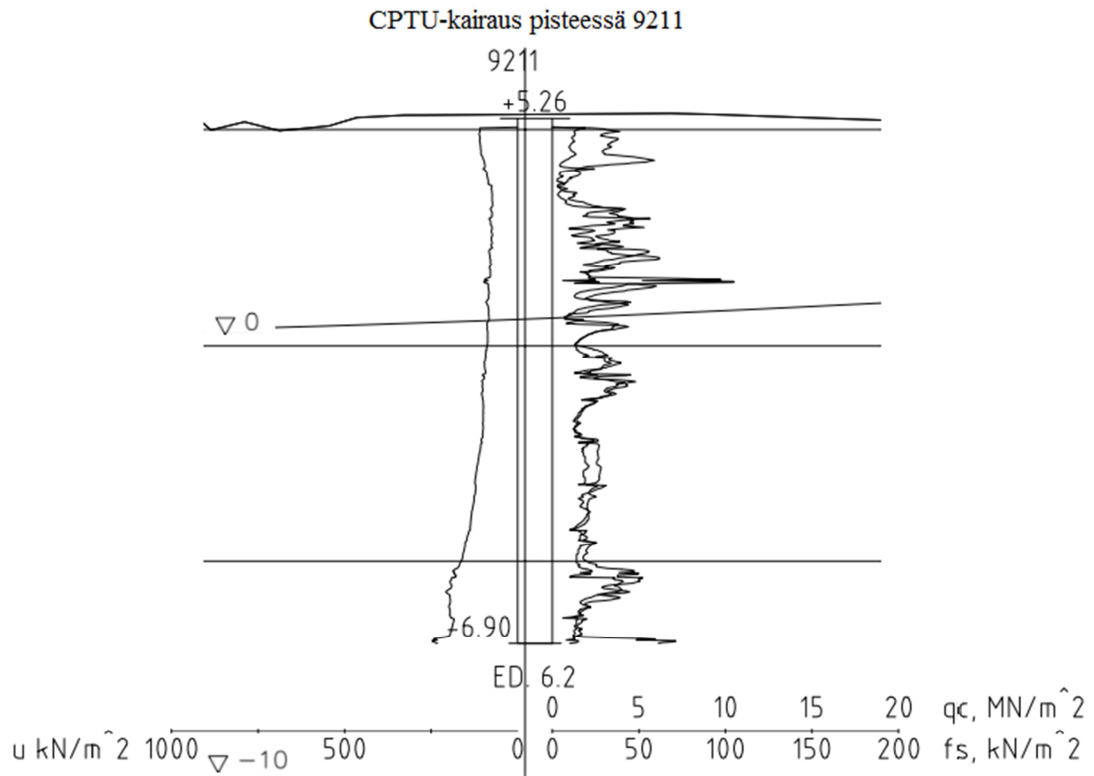
Syvin kairaus ulottuu tasolle -34,5 ja normaalisti kairaukset päättyivät tasolle -25. Kuvassa 6.7 on esitetty heijari- ja puristin-heijarikairausdiagrammi Tuuliharjun siltapaikalta. Puristin-heijarikairauspiste S31 on koepaalujen TU-B1 ja TU-T3 välissä. Heijari-

kairauspiste S46 on toisella puolella rataa koepaaluihin nähden, mutta se on lähin Tuuliharjun siltapaikalla tehty heijarikairaus. Kairauspisteiden S31 ja S46 välinen etäisyys on 32 m. Liitteessä 4 on esitetty muut puristin-heijarikairausdiagrammit. Samassa liitteessä on myös eri syvyyksiltä otettujen maanäytteiden rakeisuuskuvaajat.



Kuva 6.7. Heijari- ja puristin-heijarikairauksen kairausdiagrammit Tuuliharjun siltapaikalta. Kairauspisteiden välinen etäisyys on 32 m.

Tuuliharjun siltapaikalla on tehty yksi CPTU-kairaus, joka on esitetty kuvassa 6.8. Piste 9211 on samalla puolella rataa kuin koepaalut, mutta kuitenkin etäällä paaluista. Kairauspisteen 9211 etäisyys kairauspisteeseen S31 on 51 m ja pisteeseen S46 47 m. Tämä kairaus ulottui vain tasolle -6,9, joten paalun geoteknisen kestävyys arvioimiseen sitä ei voida käyttää.



Kuva 6.8. CPTU-kairaus Tuuliharjun siltapaikalla. Etäisyys pisteeseen S31 on 51 m ja pisteeseen 46 on 47 m.

6.4 Koepaalutuksen toteutus

Taulukossa 10 on esitetty molempien koekohteiden koepaalutyypit, paalutunnukset, paalupituudet ja tavoitetasot. Taulukossa paalutunnukset, jotka alkavat kirjaimella Z, tarkoittavat Zateeliitin koepaaluja. TU-tunnuksella alkavat paalut ovat Tuuliharjun koepaaluja. Zateeliitin paalutunnuksissa on Z kirjaimen jälkeen, joko E- tai P-kirjain, joka kuvastavat päätyä, jossa koepaalu sijaitsee. E on eteläinen pääty ja P on pohjoinen pääty. Lisäksi molempien koekohteiden paalutunnuksissa on joko T tai B, joka kuvastaa paalumateriaalia. Taulukossa 11 on esitetty tarkka aikataulu koepaalujen dynaamisista koekuormituksista. Taulukossa 11 on esitetty myös paalujen seisonta-aika.

Taulukko 10. Koepaalujen tiedot Zatelliitin ja Tuuliharjun alikulkusiltapaikoilla.

Paalutyyppi	Tunnus	Pituus [m]	Taso
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	ZET1	16+16	-23
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	ZET2	16+4+16	-27
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	ZET3	16+8+16	-30
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	ZPT4	16+7+16	-30
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	ZPT5	16+3+16	-26
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	ZPT6	16+13	-20
Teräsbetonipaalu 300b	ZEB1	15+3+14	-23
Teräsbetonipaalu 300b	ZEB2	15+7+15	-28
Teräsbetonipaalu 300b	ZPB3	15+14	-20
Teräsbetonipaalu 300b	ZPB4	15+4+15	-25
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	TU-T1	16+16	-21
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	TU-T2	16+3+14	-26
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	TU-T3	16+6+12	-31
Teräsbetonipaalu 300b	TU-B1	15+12	-20
Teräsbetonipaalu 300b	TU-B2	15+10+7	-25

Taulukko 11. Dynaamisten koekuormitusten aikataulu koekohteilla.

Paalu	Mittaus 1. (t=0)	Mittaus 2. (t=24 h)	Δ [h]	Mittaus 3. (t=14 vrk)	Δ [h]	Mittaus 4. (t=28 vrk)	Δ [h]
ZET1	3.3.2015 klo 11:30	4.3. klo 16:45	29	18.3. klo 12:00	360	31.3. klo 15:15	675
ZET2	3.3. klo 9:15	4.3. klo 16:30	31	18.3. klo 12:30	363	31.3. klo 16:30	679
ZET3	3.3. klo 10:45	4.3. klo 16:15	30	18.3. klo 12:45	363	31.3. klo 17:15	680
ZPT4	2.3. klo 12:00	3.3. klo 12:45	25	18.3. klo 10:30	383	31.3. klo 14:45	699
ZPT5	2.3. klo 13:45	3.3. klo 12:30	23	18.3. klo 10:15	381	31.3. klo 14:15	697
ZPT6	2.3. klo 15:15	3.3. klo 12:15	21	18.3. klo 9:45	379	31.3. klo 13:45	695
ZEB1	3.3. klo 16:45	4.3. klo 16:00	23	18.3. klo 8:30	352		
ZEB2	3.3. klo 16:15	4.3. klo 16:00	24	18.3. klo 8:15	352		
ZPB3	2.3. klo 17:30	3.3. klo 14:15	21	18.3. klo 9:00	376		
ZPB4	2.3. klo 16:45	3.3. klo 14:45	22	18.3. klo 8:45	376		
TU-T1	4.3. klo 9:30	5.3. klo 11:00	26	18.3. klo 14:30	342	31.3. klo 9:00	648
TU-T2	4.3. klo 10:45	5.3. klo 11:00	24	18.3. klo 14:45	340	31.3. klo 9:45	647
TU-T3	4.3. klo 13:00	5.3. klo 10:45	22	18.3. klo 15:00	338	31.3. klo 9:15	644
TU-B1	4.3. klo 14:30	5.3. klo 10:30	20	18.3. klo 15:15	337		
TU-B2	4.3. klo 15:00	5.3. klo 10:15	19	18.3. klo 15:30	336		

Mittaukset alkoivat 2.3.2015 viikolla 10, mutta edellisellä viikolla siltapaikoilla oli lyöty valmiiksi paalujen alimmat paaluelementit. Tällä toimenpiteellä saatiin nopeutettua ensimmäistä mittausvaihetta ja lisäksi saatiin ensimmäiselle paaluelementille pidempi seisonta-aika ennen ensimmäistä dynaamista koekuormitusta. Ensimmäisessä dynaamisessa koekuormituksessa alin paaluelementti oli siis seissyt maassa jo 6-10 vuorokautta.

Zatelliitissa kaikkien teräsputkipaalujen alimmat paaluelementit täytettiin vedellä elementin upotuksen jälkeen. Tuuliharjussa teräsputkipaalu täytettiin vedellä tasoon +3 asti upotuksen jälkeen. Zatelliitissa teräspaalujen loppuosaa paalusta ei täytetty vedellä, mutta Tuuliharjussa vesitäyttö tehtiin koko paalulle, koska Zatelliitissa koekuormituskujen yhteydessä havaittiin, että noste oli saattanut nostaa paalua ylöspäin ennen kuin vaippavastus oli ehtinyt kasvaa riittävästi.

Ensimmäisessä mittausvaiheessa paalut upotettiin tavoitetasoon ja tehtiin dynaamiset koekuormitukset. Paaluille ZPT5, ZPT4, ZET1, ZPB3, TU-T1, TU-B1 ja TU-B2 tehtiin

dynaamiset koekuormitukset myös jatkoksen kohdalta, jolla saatiin selville ensimmäisen paaluelementin geotekninen kestävyys. Paalujen TU-B1 ja TU-B2 ensimmäiselle paaluelementille tuli seisonta-aikaa noin 12 vuorokautta ennen jatkoskohdan dynaamisesta koekuormitusta, koska nämä paaluelementit oli asennettu maahan jo 20.2. Jatkoksen kohdalla tehtiin yksittäinen koekuormitusisku ja kymmenen lyönnin sarja. Tavoitetasossa tehtiin yksittäinen koekuormitusisku ja kymmenen lyönnin sarja.

Toinen mittausvaihe suoritettiin 3.3–5.3, jolloin paalut olivat seisseet maassa 19–31 h. Toisessa mittausvaiheessa paalulle tehtiin 1–3 koekuormitusiskua. Koekuormitusiskusta mitattiin myös painuma ja jousto.

Kolmas mittausvaihe suoritettiin 18.3., kun koepaalujen asennuksesta oli kulunut 14–16 vuorokautta. Neljäs mittausvaihe suoritettiin 31.3, kun paalujen asennuksesta oli kulunut 27–29 vuorokautta. Neljännessä mittausvaiheessa dynaamiset koekuormitukset tehtiin vain teräspalkkipaaluille, koska viimeistä koekuormituskertaa varten hankitulla pudotusjärkäleellä ei pystytty koekuormittamaan teräsbetonipaaluja. Teräsbetonipaaluilla saavutettiin paalun rakenteellinen kestävyys jo kolmannessa mittausvaiheessa, joten neljässä viikossa saavutettua geoteknistä kestävyyttä ei olisi voitu ulosmitata. Koepaalujen suurin kestävyuden ominaisarvo, $R_{k;geo;max}$, paalutustyöluokka 3:ssa on teräspaaluilla 3905 kN ja teräsbetonipaaluilla 2520 kN.

6.5 Mittaus- ja paalutuskalusto

Dynaamisissa koekuormituksissa käytettiin PDA-laitteistoa (PDA, Pile Driving Analyzer). Pile Driving Analyzerin[®] on valmistanut Pile Dynamics Inc ja mittauslaitteen malli on PAK. PDA-laitteen valmistusvuosi on 1999. Kuvassa 6.9 on esitetty kuva mittaus-tapahtumasta, jossa teräspalkkipaaluun on kiinnitetty neljä kappaletta venymäantureita ja 2 kappaletta kiihtyvyyssantureita.

Signaalinmallinnuksessa käytetään Goble Rausche Likins and Associates, Inc:n valmistamaa CAPWAP-ohjelmaa. CAPWAP-ohjelmassa mittaustietojen valinta ja säätäminen on yhteydessä PDA-ohjelmistoon, jolloin muiden valmistajien ohjelmia ja laitteita ei voi käyttää ristiin.



Kuva 6.9. Mittausanturit kiinnitettynä teräspuutkipaaluun.

Koepaalut asennettiin kahdella paalutuskoneella: Zatelliitissa paalutuskoneena oli Junttan PM 20 LC ja Tuuliharjussa Junttan PM 25. Molempien paalutuskoneiden työpaino on noin 60 t, lisäksi molemmat paalutuskoneet on varustettu automaattisella iskuluvun rekisteröintilaitteella. Lisäksi PM 20 LC koneessa on iPiler, joka rekisteröi järkäleen pudotuskorkeuden, paalun painuman lyönneillä ja lyöntienergian.

Molemmat paalutuskoneet on varustettu HHK-5 A hydraulijärkäleellä. HHK-5 A järkäleen maksimi pudotuskorkeus on 1,2 m ja teoreettisesti maksimi lyöntienergia on 60 kNm. Kiihdytyksen ansiosta todellinen lyöntienergia on kuitenkin teoreettista energiaa suurempi. Kyseisellä järkäleellä ei pystytty tuottamaan tarvittavaa lyöntienergiaa, jotta kaikki koepaalut olisi pystytty kuormittamaan murtoon asti, koska paalujen geotekninen kestävyys oli oletettua suurempi. Kitkapaalujen geoteknisen kestävyys oletettiin olevan alhainen, mutta osa paaluista toimii lähes tukipaalun tavoin, jolloin HHK-5 A järkäleen kapasiteetti ei ollut riittävä. Kuvassa 6.10 on esitetty paalutuskoneet sekä järkäleet.



Kuva 6.10. Paalutuskoneet koekohteilla. Vasemmalla Junttan PM 20 LC ja oikealla Junttan PM 25.

Kolmanteen mittausvaiheeseen hankittiin HHK-7 A järkäle, jonka maksimi pudotuskorkeus on 1,2 m ja teoreettinen maksimi lyöntienergia on 82 kNm. Tälläkään järkäleellä ei pystytty tuottamaan kaikille paaluille riittävä lyöntienergia murtokuorman mobilisoimiseksi. Viimeisiin mittauksiin hankittiin pudotusjärkäle, jonka liikkuvan osan massa oli 10 t. Pudotusjärkäle on esitetty kuvassa 6.11. 14 vuorokauden ja 28 vuorokauden koe-kuormituksissa käytettiin kuvassa 6.10 vasemmalla puolella olevalla Junttan PM 20 LC konetta, johon HHK-7A ja 10 t pudotusjärkäle pystytettiin asentamaan.



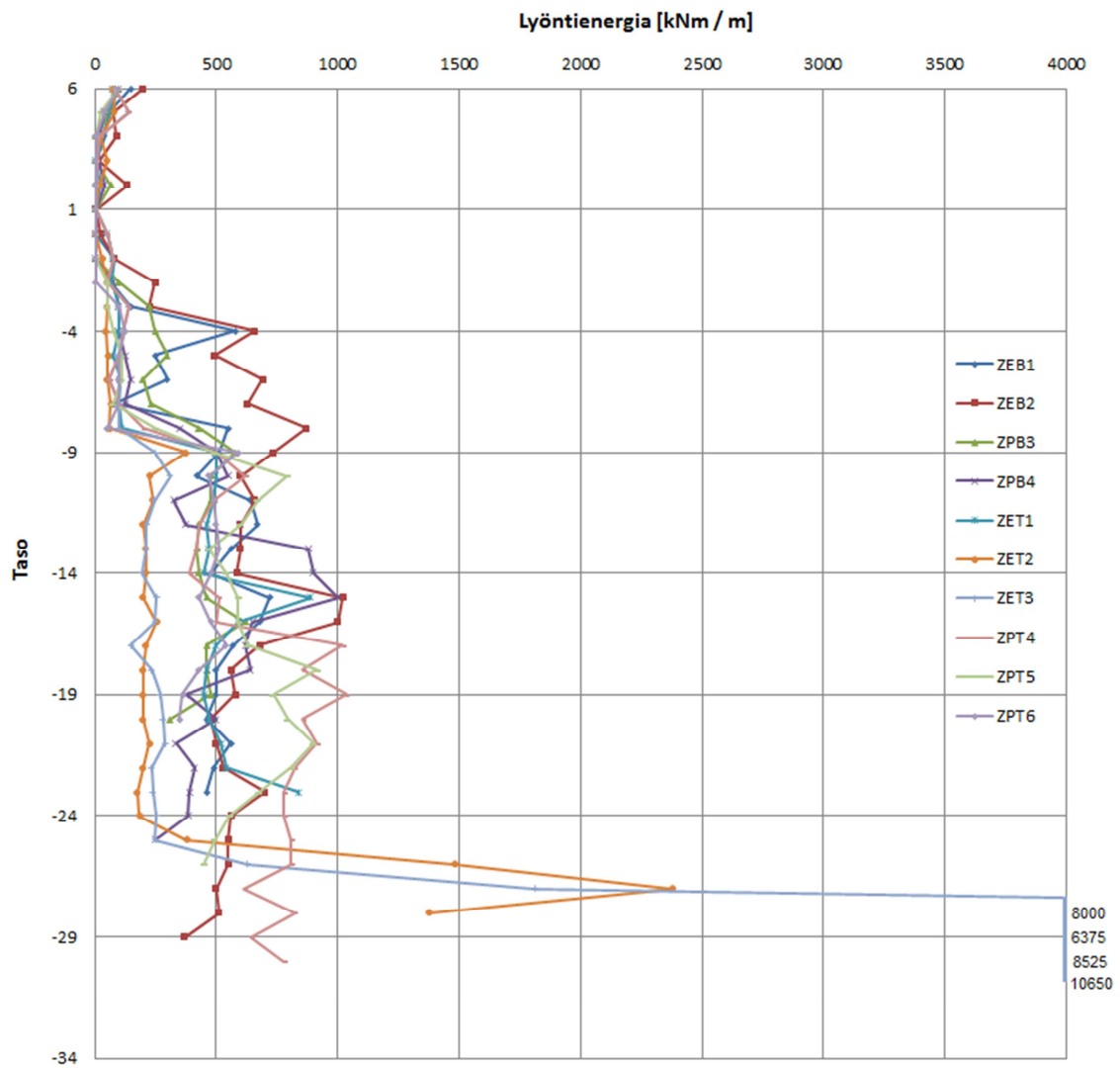
Kuva 6.11. 9 t pudotusjärkäle asennettuna Junttan PM 20 LC koneeseen.

Erityisesti betonipaaluilla painavalla pudotusjärkäleellä ylitetään sallitut jännitykset herkästi. Pudotusjärkäleillä pudotuskorkeus on kuitenkin helpompi määrittää kuin hydraulijärkäleellä, jolla haluttu pudotuskorkeus toteutuu noin 0,1 m tarkkuudella. Viimeisessä mittausvaiheessa teräsbetonipaaluja ei koekuormitettu enää ollenkaan, kun pudot-

tusjätkä ei soveltunut kuin teräspalkkipaaluille ja teräsbetonipaalujen rakenteellinen kestävyys oli saavutettu jo kolmannessa mittausvaiheessa.

6.6 Paalutustyö

Zatelliitissa pohjoisen puoleisen osion paalut upposivat odotetun helposti tavoitetasoon. Keskimääräisesti paalujen upotuksessa käytettiin noin 50 lyöntiä/m. Kuvassa 6.12 on esitetty upotuksessa käytetty lyöntienergia metriä kohden syvyyden funktiona. Lyöntienergia metrille laskettiin kertomalla järkäleen massa pudotuskorkeudella ja iskujen määrällä metriä kohden. Lyöntien määrä metriä kohden on otettu suoraan paalutusurakoitsijan tekemistä paalutuspöytäkirjoista. HHK-5A järkäleen pudotuskorkeus vaihteli 0,1–0,2 m välillä perusupotuksessa, mutta upotuksen lopussa tiiviimmissä kerroksissa viimeisillä metreillä järkäleen pudotuskorkeus oli 0,3–0,5 m. Zatelliitin paalutuspöytäkirjat on esitetty liitteenä 5.



Kuva 6.12. Zatelliitin koepaalujen lyöntienergia metriä kohden syvyyden funktiona.

Zatelliitin eteläisessä päädyssä paalujen upotus ei ollut yhtä helppoa kuin pohjoisessa päädyssä. Syvimmälle ulottuvalla paalulla ZET3 ei aivan saavutettu tavoitetasoa, vaan paalu jätettiin tasolle -31. Kaikilla muilla Zatelliitin paaluilla saavutettiin suunniteltu tavoitetaso.

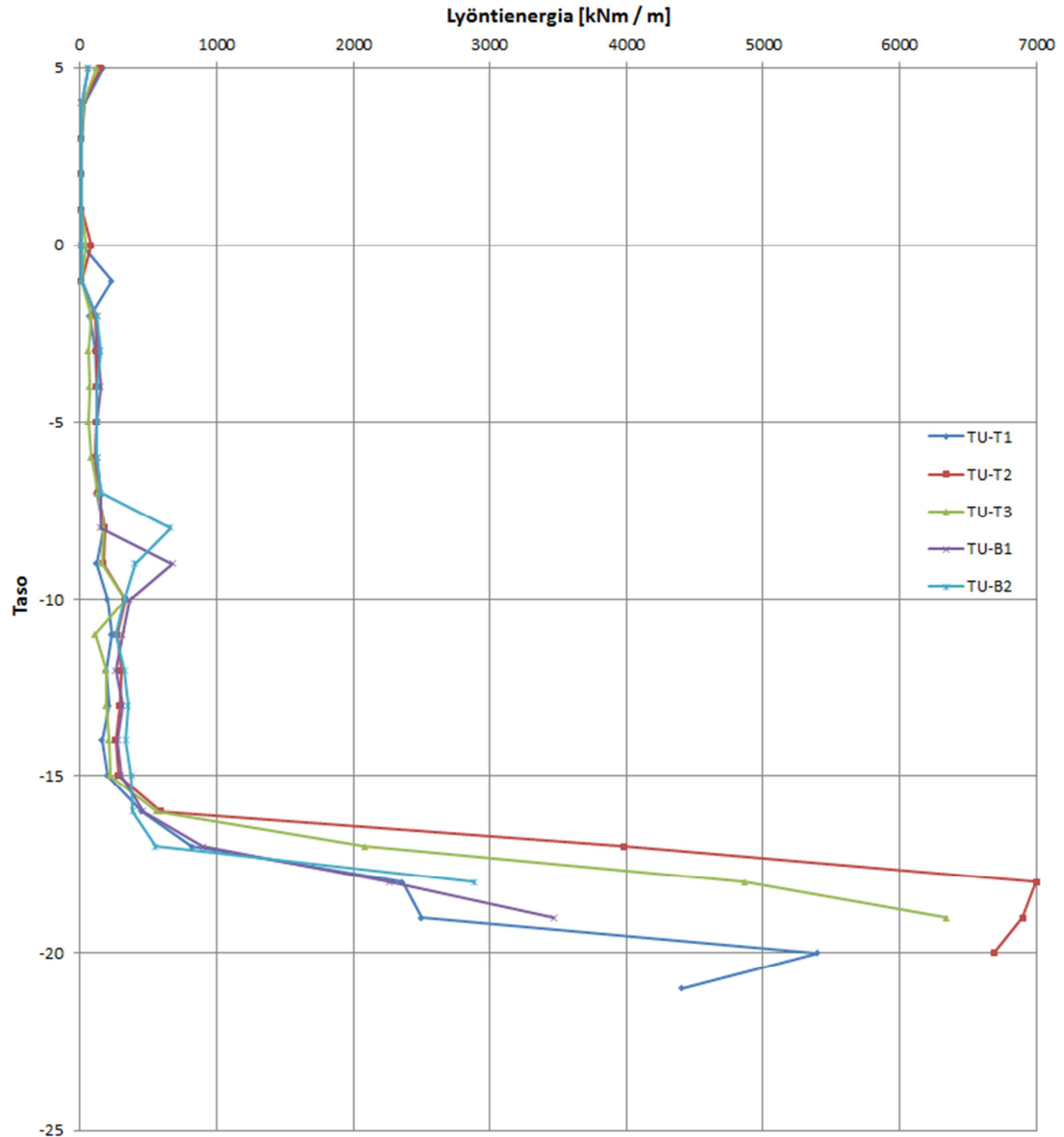
Zatelliitissa molemmissa päädyissä tiiviimpi kerros näyttää alkavan suunnilleen tasolta -27 paalujen lyöntienergioiden perusteella. Eteläisen päädyn puristin-heijarikairauksien perusteella vastaavanlaista tiiviimpää kerrosta ei ole havaittavissa. Pohjoisen ja eteläisen päädyn välillä tehtyjen heijarikairauksien perusteella tasolla -27 on kuitenkin havaittavissa selkeä kairausvastuksen kasvu. Liitteessä 1 on nähtävissä kyseiset heijarikairausprofiilit.

Tuuliharjussa tiiviimmät kerrokset tulivat oletettua aikaisemmin vastaan, joten kaikilla paaluilla ei saavutettu tavoitetasoa. Paaluilla TU-T1 ja TU-B1 saavutettiin suunniteltu tavoitetaso, kun taas muilla paaluilla jäätin 6–12 m suunnitellusta tavoitetasosta. Tavoitetasosta jääneillä teräsputkipaaluilla ylimääräinen osuus paalusta leikattiin pois ja teräsbetonipaalulla TU-B2 viimeinen 7 m pitkä elementti jätettiin kokonaan asentamatta. Taulukossa 12 on esitetty toteutuneet upotustasot ja elementtien lopulliset pituudet. Upotussyvyyteen on laskettu mukaan teräsputkipaalujen kalliokärki, jonka pituus on 280 mm. Lisäksi kolmannen mittausvaiheen yhteydessä paalu TU-T2 upotettiin vielä 1 m syvemmälle.

Taulukko 12. *Tuuliharjun koepaalujen toteutuneet elementtipituudet ja tasot.*

Paalutyyppi	Tunnus	Pituus [m]	Taso
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	TU-T1	16+12	-21
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	TU-T2	16+3+9	-20
Teräsputkipaalu D323,9*10 mm S440J2H	TU-T3	16+6+4	-19
Teräsbetonipaalu 300b	TU-B1	15+12	-20
Teräsbetonipaalu 300b	TU-B2	15+10	-18

Upotuksessa käytetty lyöntienergia metriä kohde syvyyden funktiona on esitetty kuvassa 6.13. Lyöntien määrä on laskettu paalutuspöytäkirjojen perusteella. Murskekerroksen jälkeen ensimmäiset 5–7 m paalua upotettiin käytännössä pelkällä vasaran painolla. Järkäleen pudotuskorkeus oli 0,2–0,25 m perusupotuksessa ja lopussa 0,3–0,6 m, kun vastaan tuli tiiviimpiä kerroksia. Tuuliharjun koepaalutuspöytäkirjat on esitetty liitteessä 6.



Kuva 6.13. Tuuliharjun koepaalujen lyöntienergia metriä kohden syvyyden funktiona.

Kuvasta 6.13 on selvästi havaittavissa, kuinka tasolla -17 alkaa tiiviimpi kerros lyöntienergian perusteella. Samankaltaista käyttäytymistä ei voida havaita puristinheijarikairauksesta pisteessä S31, joka on esitetty kuvassa 6.7. Tuuliharjussa suurin lyöntienergia metriä kohden oli paalulla TU-T3, jonka viimeisen metrin upotukseen käytettiin energiaa 7000 kNm. Koepaalujen upotuksesta ei ollut saatavilla iPiler-lokeja, joten kuvissa 6.12 ja 6.13 esitetty lyöntienergia metrille on vain teoreettinen arvio.

7. MITTAUSTULOKSIEN JA LASKELMIEN ESITELY JA ANALYSOINTI

7.1 Yleistä

Tässä luvussa esitellään koepaalutuksen mittaustulokset ja pohjatutkimustuloksiin perustuvat laskelmat paalujen geotekniselle kestävyydelle. Mittaustuloksia ja laskelmia analysoidaan ja arvioidaan sekä esitetään mahdollisia parannusehdotuksia. Kirjallisuudessa esitellyillä teoreettisilla laskentakaavoilla lasketaan koekohteen olosuhteissa paalujen geotekniset kestävyys ja verrataan toteutuneisiin kestävyys. Tarvittaessa kaavoja muokataan ja kertoimia korjataan vastaamaan saatuja mittaustuloksia. Alaluvussa 7.7 esitetään esimerkki siitä, kuinka aikatekijän huomioiminen vaikuttaa paalutuskustannuksiin.

7.2 Dynaamiset koekuormitukset ja CAPWAP-analyysit

Taulukossa 13 on esitetty kootusti mittaustulokset kaikista dynaamisten koekuormitusten vaiheista sekä Zateeliitin että Tuuliharjun koepaaluille. Taulukossa on paalu- ja mitausvaihekohtaisesti esitetty RMX-estimaatti, painuma s , jousto c ja lyöntilaitteesta paaluun siirtynyt energia EMX. Paalun painuma koekuormitusiskulla on mitattu vaaituslaitteella tai paalun kyljestä kynänä avulla kappaleessa 2 esitetyllä tavalla. PDA-laitteen mittaamasta paalun siirtymästä on vähennetty mitattu painuma, jolloin on saatu selville paalun jousto. PDA-laite laskee ja ilmoittaa RMX-estimaatin ja paaluun välittyneen energian.

Taulukko 13. Koepaalujen dynaamisten koekuormitusten tulokset.

		t=0					t=24 h					t=14 vrk					t=28 vrk				
Paalu	Taso	RMX [kN]	s [mm]	c [mm]	EMX [kNm]	s/10 [mm]	RMX [kN]	s [mm]	c [mm]	EMX [kNm]	RMX [kN]	s [mm]	c [mm]	EMX [kNm]	RMX [kN]	s [mm]	c [mm]	EMX [kNm]			
ZET1	-23	301	75	15	68,9	151	1170	25	14	60,6	2551	8	28	68,1	3036	22	38	165,0			
ZET2	-27	1363	18	29	63,7	123	1917	9	26	54,3	2436	2	38	69,9	3327	10	49	151,0			
ZET3	-30	1814	6	34	59,7	30	2078	4	34	61,9	2549	1	39	70,2	3561	4	48	122,9			
ZPT4	-30	454	45	18	63,4	184	1217	19	22	62,2	2555	6	32	72,2	3533	17	43	159,7			
ZPT5	-26	480	90	4	74,2	268	1366	23	16	64,4	2726	7	29	71,6	3450	8	46	137,8			
ZPT6	-20	303	90	24	75,4	254	1253	29	9	61,7	2738	4	31	71,9	3722	12	35	136,2			
ZEB1	-23	864	31	8	35,3	175	1537	12	10	44	2463	6	18	59,4							
ZEB2	-28	535	24	12	33,3	139	1018	17	10	44,6	1954	10	17	62,8							
ZPB3	-20	283	39	7	21,4	210	1207	4	18	37,7	2518	6	18	58,1							
ZPB4	-25	654	55	4	41,7	147	1629	6	16	39,9	2526	5	19	56,2							
TU-T1	-21	1711	17	28	64,3	70	2119	11	28	68,2	2560	7	34	77,6	3085	20	38	145,1			
TU-T2	-20	1957	10	32	62,9	35	2318	8	30	66,9	2774	5	33	69,5	2830	24	38	152,3			
TU-T3	-19	1595	16	34	68,3	26	1940	13	30	73	2314	15	24	69,9	2479	25	34	136,4			
TU-B1	-20	1530	8	19	37,7	30	1635	8	18	46,2	1966	6	24	60,8							
TU-B2	-18	847	18	12	25,9		1079	10	14	32,4	1605	11	19	63,6							

Ensin esitetään ja analysoidaan Zateeliitin mittaustulokset alaluvussa 7.2.1. Alaluvussa 7.2.2 käsitellään Tuuliharjun mittaustuloksia. Tekstissä on esitetty vain kirjoittajan mie-

lestä tärkeimmät ja oleelliset mittaukset, mutta kaikki mittaustulokset ja -tiedot ovat saatavina työn liitteinä.

7.2.1 Zatelliitti

Zatelliitissa tutkittiin siis kuuden teräspalkin RR320/10 ja neljän teräsbetonipalkin tb300b geoteknisen kestävyysajan suhteen. Dynaamiset koekuormitukset tehtiin neljässä vaiheessa, joista toisen mittausvaiheen tarkoitus oli selvittää, kuinka huokosveden ylipaineen purkautuminen vaikuttaa palkin geotekniseen kestävyysasteeseen. Kahdella viimeisellä mittausvaiheella selvitettiin palkin geoteknisen kestävyysajan kasvu pidemmällä aikavälillä.

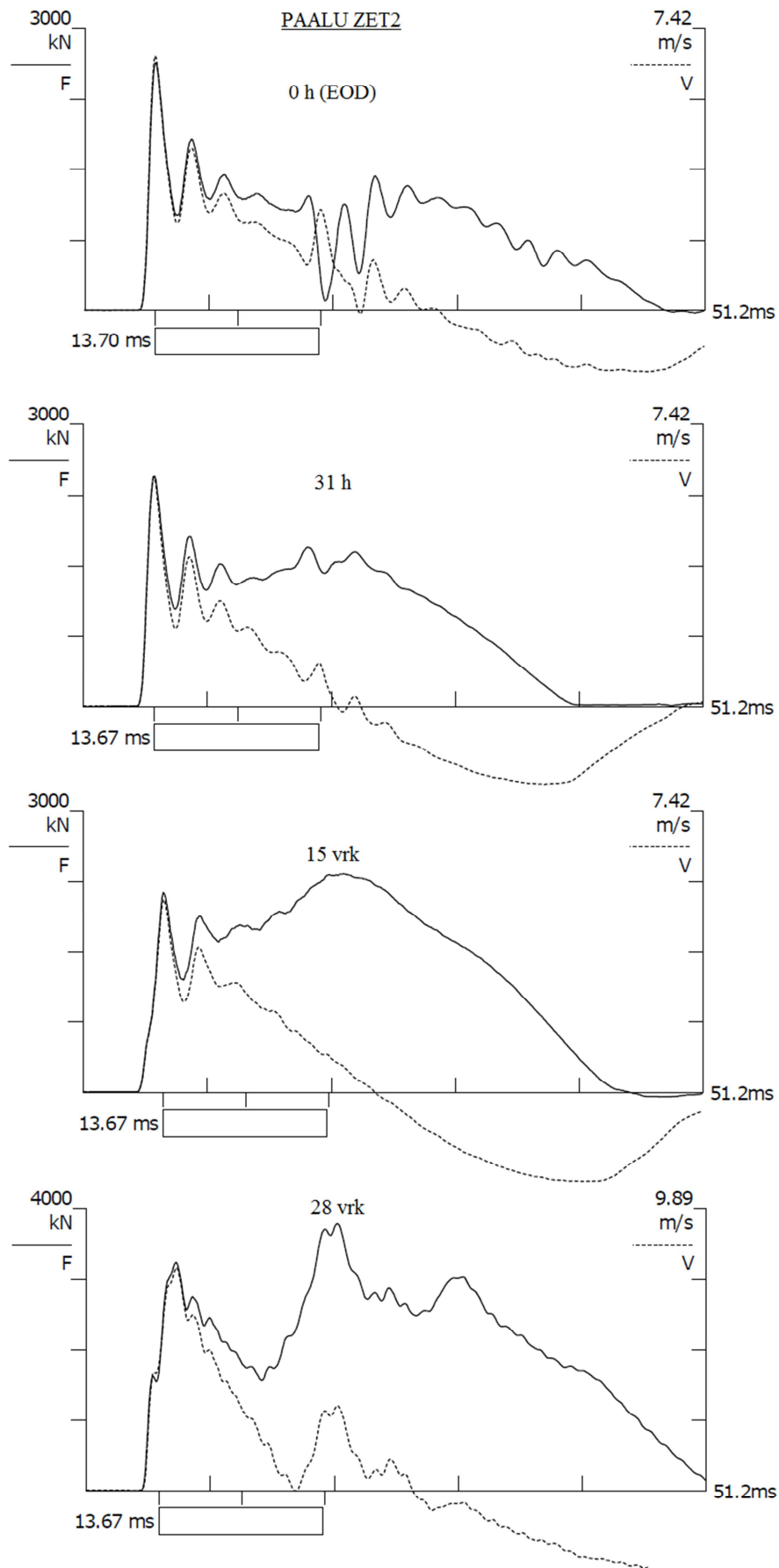
Vuorokauden kohdalla koekuormituksissa käytettiin samaa HHK-5 A järkeä kuin palkin upotuksessa. Teräspalkin palkilla käytettiin järkeen maksimipudotuskorkeutta 1,2 m, mutta teräsbetonipalkilla käytettiin 0,7-0,8 m pudotuskorkeutta. Järkeen lyöntienergia ei kuitenkaan riittänyt mobilisoida tiukimpaan asennettujen palkin murtokuormaa. Tästä esimerkkinä palki ZET3, joka toimi käytännössä tukipalkin tavoin.

Kolmannen mittausvaiheeseen hankitulla HHK-7A järkeellä ei myöskään pystytty kuormittamaan kaikkia palkia murtoon asti. Kolmannessa vaiheessa palkia ZET1 ja ZPT5 pyrittiin irrottamaan varsinaisten koekuormitusiskujen lisäksi ylimääräisillä lyönneillä, koska järkeen lyöntienergia ei riittänyt kerralla mobilisoida vaipan ja kärjen murtokuormaa samalla lyönnillä. Ylimääräisten lyöntien tarkoituksena oli saada palkin vaippa häirittyä, jolloin palkin kärjen murtokuorma olisi ollut mahdollista mobilisoida. Vaipan häirintä häiritsi myös kärjen alapuolista maata, jolloin kärjestä ei pystytty mittaamaan häiriintymätöntä tilaa edustavaa murtokuormaa.

Viimeistä mittausvaihetta varten hankittiin pudotusjärke, jonka liikkuvien osien paino oli 10 t. Kyseisellä järkeellä oli mahdollista tuottaa vaadittava lyöntienergia palkin murtokuorman mobilisointia varten, mutta ongelmaksi muodostui venymäantureiden kiinnityksen luistaminen. Järkeen pudotuskorkeus oli parhaillaan 2,6 m. Venymäantureiden luistaminen rajoitti kuitenkin järkeen pudotuskorkeutta, mutta myös palkin lyöntinaikaiset jännitykset tulivat vastaan, eikä lyöntikorkeutta voitu enää nostaa. Teräspalkin palkilla sallitut jännitykset dynaamisessa koekuormituksessa oli 475 MPa ja teräsbetonipalkilla 30,8 MPa.

Viimeisessä mittausvaiheessa ei kuormitettu enää teräsbetonipalkia, koska se olisi vaatinut järkeen vaihtoa. Kolmannessa mittausvaiheessa saavutettiin teräsbetonipalkin rakenteellinen kestävyys, kun lyöntinaikaiset jännitykset saavuttivat sallitun ylärajan. Viimeisessä mittausvaiheessa ei nähty siis tarpeelliseksi kuormittaa teräsbetonipalkia uudelleen, koska suurempia kestävyksiä ei olisi pystytty ulosmittaamaan sallittujen lyöntijännityksien rajoissa.

Kuvassa 7.1 on esitetty paalun ZET2 mittausvaiheiden iskuaaltokuvaajat. Kuvaajissa on esitetty mitattu voima ja nopeus ajan funktiona. Yhtenäinen viiva esittää mitattua voimaa ja pistekatkoviiva esittää nopeuskuvaaja. Aika-akselilla on esitetty laatikko kuvastaa paalua. Vaippakestävyiden kasvu 0 h jälkeen havaitaan, kun hieman paalun yläpään alapuolelta voimakuvaja lähtee nousemaan ja nopeuskuvaaja lähtee laskuun. Vasta viimeisestä mittauskuvaajasta voidaan nähdä paalun kärkiheijastus, joka osoittaa, että murtokuorma on mobilisoitunut. Toisessa ja kolmannessa mittausvaiheessa paalun murtokuormaa ei ole mobilisoitu kokonaan, koska kärkiheijastusta ei ole nähtävissä.



Kuva 7.1. Paalun ZET2 iskuaaltokuvaajat mittausvaiheista 0 h, 31 h, 15 vrk ja 28 vrk.

Dynaamisissa koekuormituksissa havaittiin, että ensimmäisen vuorokauden aikana paalun asennuksesta teräspaalut nousivat nosteen vaikutuksesta hieman ylös, kun vaippavastus ei ollut vielä kasvanut riittävästi. Sen takia ensimmäisellä kunnollisella koekuormituslyönnillä esiintyi suurempi painuma ja pienempi jousto kuin seuraavilla lyönneillä. Zatelliitissa vain teräspaalujen ensimmäinen paaluelementti oli täytetty vedellä, joka ei estänyt paalujen nousua. Tuuliharjussa havaintoon reagoitiin täyttämällä teräspaalut kokonaan vedellä asennuksen jälkeen.

Kaikille paaluille tehtiin CAPWAP-analyysit kolmesta viimeisestä mittausvaiheesta. Paaluille ZET3 ja ZPT4 tehtiin CAPWAP-analyysi myös ensimmäisestä mittausvaiheesta. Muille paaluille ei ensimmäisestä mittausvaiheesta tehty CAPWAP-analyysiä, koska paaluilla oli alhainen geotekninen kestävyys ja CAPWAP-analyysin teko on tästä syystä melko hankalaa erityisesti teräsbetonipaaluilla. CAPWAP-analyysillä selvitettiin paalun vaippa- ja kärkikestävyyden jakauma, jolloin mittausvaiheiden välillä pystyttiin vertaamaan vaippakestävyyden kasvua. Taulukossa 14 on esitetty Zatelliitin paalujen CAPWAP-analyysien tulokset. CAPWAP-sarakkeessa on esitetty Case Methodin RMX-estimaatti 0 h kohdalla, jos CAPWAP-analyysiä ei ole ensimmäisestä mittauksesta tehty.

Dynaamisten koekuormitusten perusteella Zatelliitin ja Tuuliharjun siltapaikalla koepaalujen murtokuorman mobilisointi vaati noin 15–20 mm painuman koekuormitusiskulla. Murtokuormalla tarkoitetaan tässä sitä CASE-menetelmän RMX-estimaatin maksimiarvoa, joka ei enää kasva lyöntienergiaa kasvattamalla. Eli toisin sanoen pysyvä painuma kasvaa RMX-estimaatin kasvamatta. Osalla paaluista pysyvä painuma oli täyden geoteknisen kestävyysmobilisoinnin edellyttämää painumaa suurempi, mutta tuloksien oikeellisuuteen suuremmalla painumalla ei tutkimuksien mukaan ole vaikutusta (Likins et al. 2008).

Taulukko 14. *Zatelliitin koepaalujen CAPWAP-analyysien tulokset.*

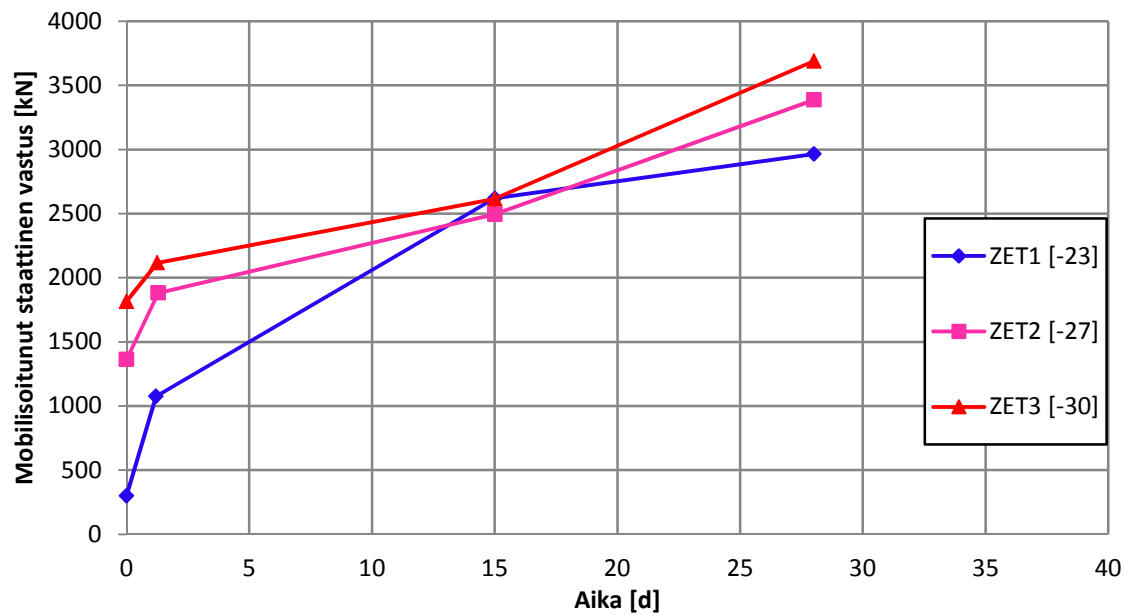
Paalu- tunnus	LE [m]	Aika asennuksesta	Geotekninen kestävyys, Case Method [kN]	Geotekninen kestävyys, CAPWAP [kN]			Painuma per lyönti [mm]	EMX [kNm]
				Yhteensä	Vaippa	Kärki		
ZET1	30,9	EOD	301	301			75	68,9
		29 tuntia	1148	1075	821	254	25	60,6
		15 vuorokautta	2551	2619	1977	642	8	68,1
		28 vuorokautta	3036	2965	2157	808	22	165
ZET2	35	EOD	1363	1363			18	63,7
		31 tuntia	1917	1882	1196	686	9	54,3
		15 vuorokautta	2436	2494	1819	675	2	69,9
		28 vuorokautta	3327	3386	2314	1072	10	151
ZET3	38,8	EOD	1814	1816	863	953	6	59,7
		30 tuntia	2078	2116	1477	639	4	61,9
		15 vuorokautta	2549	2614	1947	667	1	70,2
		28 vuorokautta	3561	3688	2350	1338	3	122,9
ZEB1	31	EOD	864	864			31	35,3
		23 tuntia	1537	1490	747	743	12	44
		15 vuorokautta	2463	2528	1628	900	6	59,4
		28 vuorokautta						
ZEB2	27,5	EOD	977	977			24	33,3
		24 tuntia	1356	1070	281	790	17	44,6
		15 vuorokautta	1954	1626	734	891	10	62,8
		28 vuorokautta						
ZPT4	37,7	EOD	454	572	378	194	45	63,4
		25 tuntia	1217	1238	1009	229	19	62,2
		16 vuorokautta	2555	2450	1943	507	6	72,2
		28 vuorokautta	3533	3489	2716	773	17	159,7
ZPT5	33,6	EOD	480	480			90	74,2
		23 tuntia	1366	1244	957	287	23	64,4
		16 vuorokautta	2726	2676	1849	827	7	71,6
		28 vuorokautta	3450	3441	2492	949	8	137,8
ZPT6	27,6	EOD	303	303			90	75,4
		21 tuntia	1253	1270	922	347	29	61,7
		16 vuorokautta	2738	2755	1698	1057	4	71,9
		28 vuorokautta	3722	3575	2477	1098	12	136,2
ZPB3	27,5	EOD	283	283			39	21,4
		21 tuntia	1203	1219	970	249	4	37,7
		16 vuorokautta	2518	2372	1588	784	6	58,1
		28 vuorokautta						
ZPB4	32,8	EOD	654	654			55	41,7
		22 tuntia	1629	1590	1020	570	6	39,9
		16 vuorokautta	2526	2658	1755	903	5	56,2
		28 vuorokautta						

Eteläisessä päädyssä paalu ZET3 käyttäytyi tukipaalun tavoin, eikä paalusta saatu mitattua täydellistä murtokuormaa ulos yhdelläkään mittauskerralla. Paalu ZET2 on paalua ZET3 noin 3 m lyhyempi ja ZET2 oli asennettaessa paalua ZET3 löysemässä, mutta vaippakestävyys kasvoi kuitenkin niin hyvin, ettei paalua pystytty kuormittamaan murtoon ensimmäisen mittauskerran jälkeen.

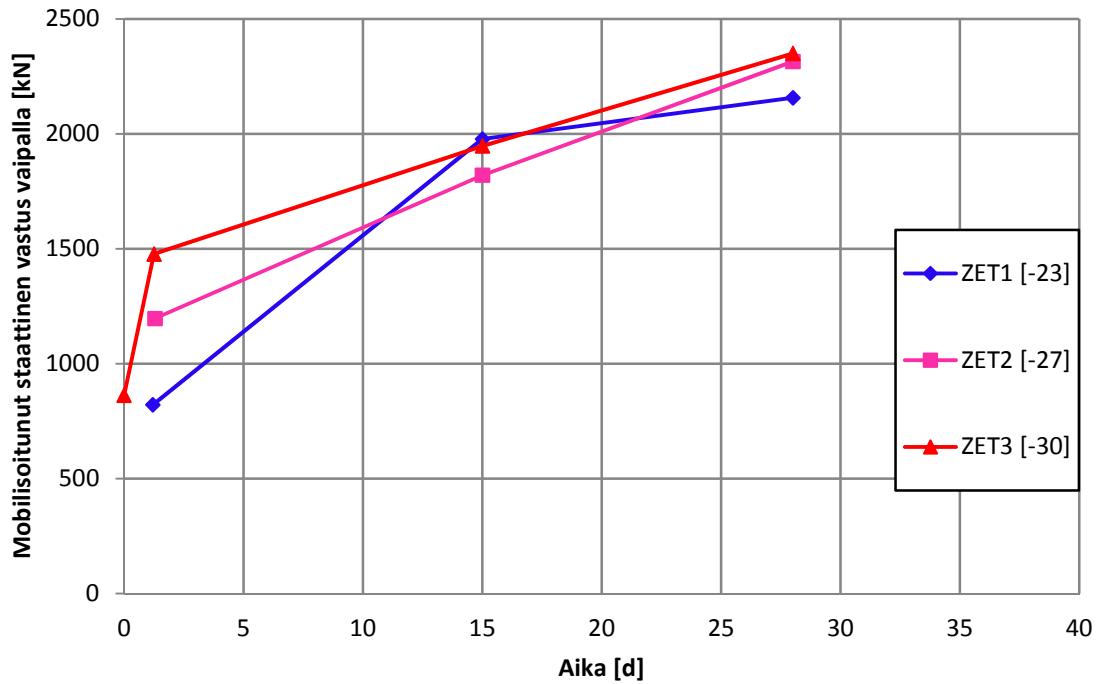
Paalu ZET1 oli kolmesta eteläisen päädyn teräsputkipaalusta selkeästi heikoin ja upotuksen jälkeen paalusta mitattiinkin vain noin 300 kN geotekninen kestävyys. Paalusta saatiin mitattua täydellinen murtokuorma varmuudella kaikilla muilla mittauskerroilla paitsi 15 vuorokauden mittauksesta. Paalua ZET1 irroteltiin 15 vuorokauden kohdalla, joka oletettavasti näkyy 28 vuorokauden tuloksissa. Paalun RMX-estimaatti laski seit-

semällä irrotuslyönneillä 2,55 MN:sta 2,10 MN:in, kun paalun kärki häiriintyi samalla, kun vaippaa irrotettiin.

Zatelliitin eteläisen päädyn teräsputkipaalujen geoteknisen kestävyiden kasvu on esitetty kuvassa 7.2 ja samojen paalujen vaippakestävyiden kasvu on esitetty kuvassa 7.3. Kärkikestävyyttä ei ole erikseen esitetty yhdellekään koekohteiden paaluista, koska todellinen kärkikestävyys pystyttiin mobilisoimaan hyvin vaihtelevasti. Varsinkaan kolmannella mittauskerralla kärkikestävyyttä ei pystytty mobilisoimaan kuin muutamasta paalusta.

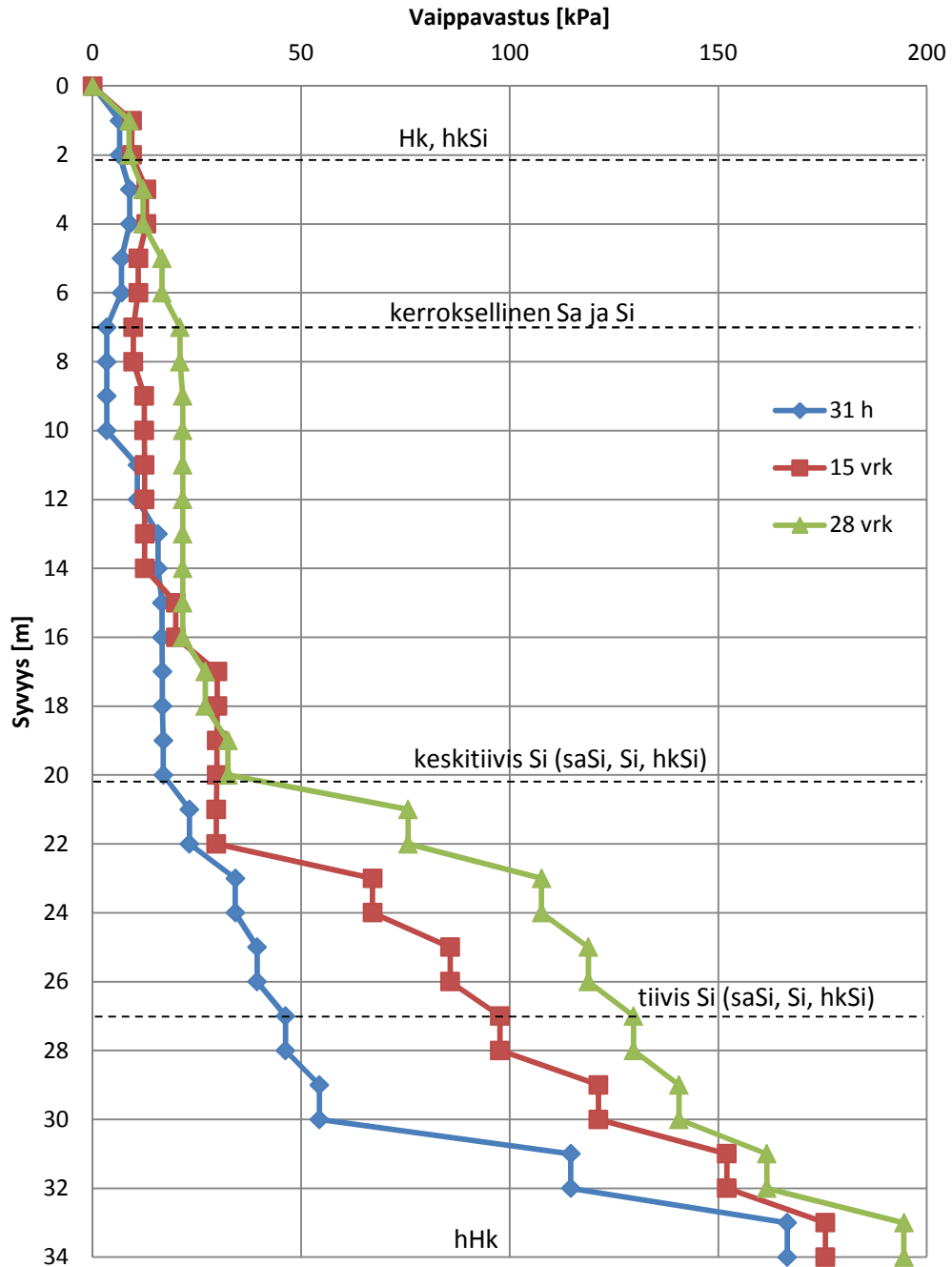


Kuva 7.2. Zatelliitin eteläisen päädyn teräsputkipaalujen geoteknisen kestävyiden kasvu ajan suhteen.



Kuva 7.3. *Zatelliitin eteläisen päädyn teräspalkkipaalujen vaippakestävyyden kasvu ajan suhteen.*

Kuvan 7.2 mukaan paaluilla ZET2 ja ZET3 geoteknisen kestävyys kasvu olisi 15 vuorokauden jälkeen voimakkaampaa kuin ennen 15 vuorokauden mittausta. Todellisuudessa paaluilla ZET2 ja ZET3 pitäisi näkyä samantapainen taite 15 vuorokauden kohdalla kuvaajissa kuin paalulla ZET1 on nähtävissä, mutta koska täydellistä murto-kuormaa ei pystytty mobilisoimaan, ei taitetta ole nähtävissä. Paalujen ZET2 ja ZET3 painumien perusteella kolmannessa mittauksessa ei edes vaippakestävyyttä ole mobilisoitu täydellisesti. Kuvassa 7.4 on esitetty paalun ZET2 vaippavastuksen kasvu upotussyvyyden funktiona kolmen viimeisen mittaukserran CAPWAP-analyysien perusteella.



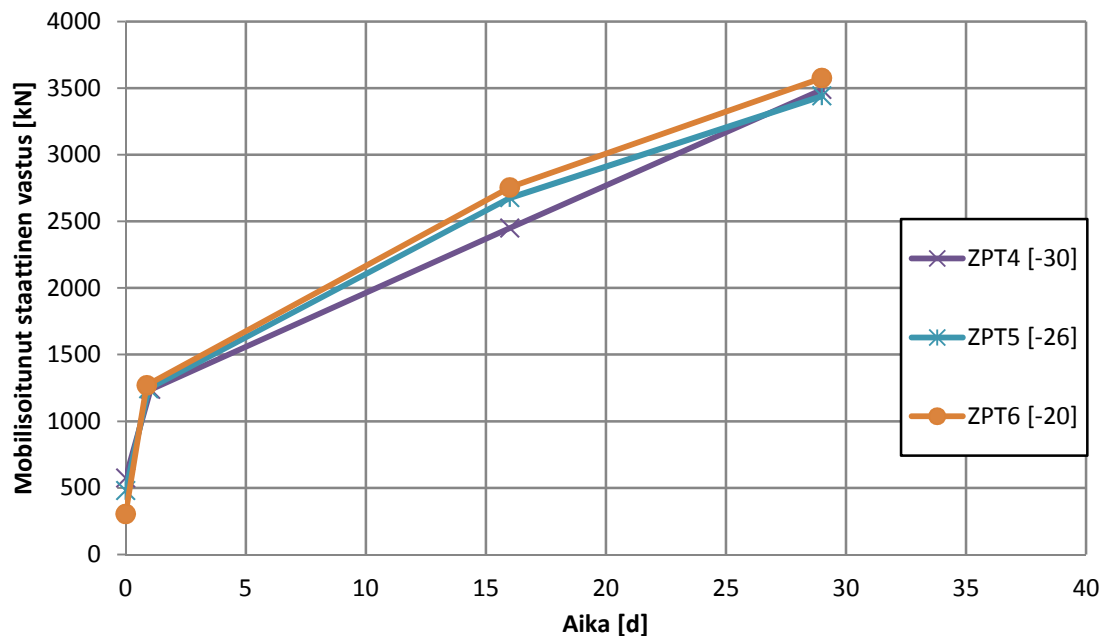
Kuva 7.4. Paalun ZET2 vaippavastuksen kasvu upotussyvyyden funktiona kolmen viimeisen mittauskerran CAPWAP-analyysien perusteella.

Kuvasta 7.4 on havaittavissa, että vaippavastus kasvoi selkeästi 20 m syvyydestä alaspäin, kun vastaan tuli tiiviimpiä kerroksia. Samalla syvyydellä puristinheijarikairauksessa jouduttiin siirtymään puristuksesta heijarin käyttöön, joka viittaa myös siihen, että vastaan tuli tiiviimpiä kerroksia. Kuvasta on myös selvästi nähtävissä, kuinka vaippavastus kasvaa kuljettaessa kohti paalun kärkeä, kuljettaessa kohti tiiviimpiä kerroksia. Paalun yläosassa vaippavastus on tasainen, eikä juuri kasva syvyyden funktiona. Liitteenä 8 on esitetty kaikkien koepaalujen CAPWAP-tulosteet, joista on nähtävissä vaippavastuksen arvot paalun upotussyvyydellä kolmesta viimeisestä mittausvaiheesta.

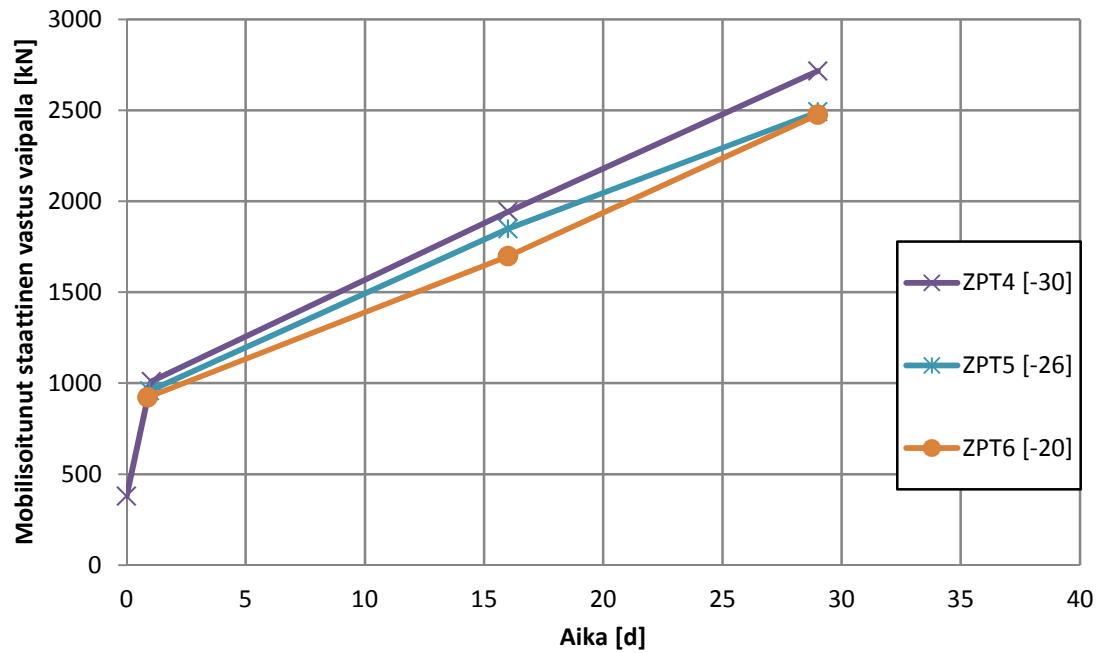
CAPWAP-tulosteissa on esitetty vaippavastuksen jakauma pylväsdigrammein paalun upotussyvyyden funktiona.

Kaikki pohjoisen päädyn teräsputkipaalut pystytettiin kuormittamaan murtoon asti vielä 24 h mittauksessa, mutta kolmannessa mittausvaiheessa yhdelläkään paalulla ei varmuudella ole mobilisoitu täydellistä murtokuormaa. Viimeisessä mittausvaiheessa 10 t pudotusjärkälleellä ainakin paalut ZPT4 ja ZPT6 on pystytty kuormittamaan murtoon asti.

Paalua ZPT5 irroteltiin kolmannessa mittausvaiheessa samalla tavalla kuin paalua ZET1. Paalu ZPT5 ei häiriintynyt kuitenkaan yhtä herkästi kuin paalu ZET1. Paalun ZPT5 RMX-estimaatti laski yhdeksällä lyönnillä 2,73 MN:sta 2,53 MN:in. Zatelliitin pohjoisen päädyn teräsputkipaalujen geoteknisen kestävyyskasvu on esitetty kuvassa 7.5 ja samojen paalujen vaippakestävyyskasvu on esitetty kuvassa 7.6.



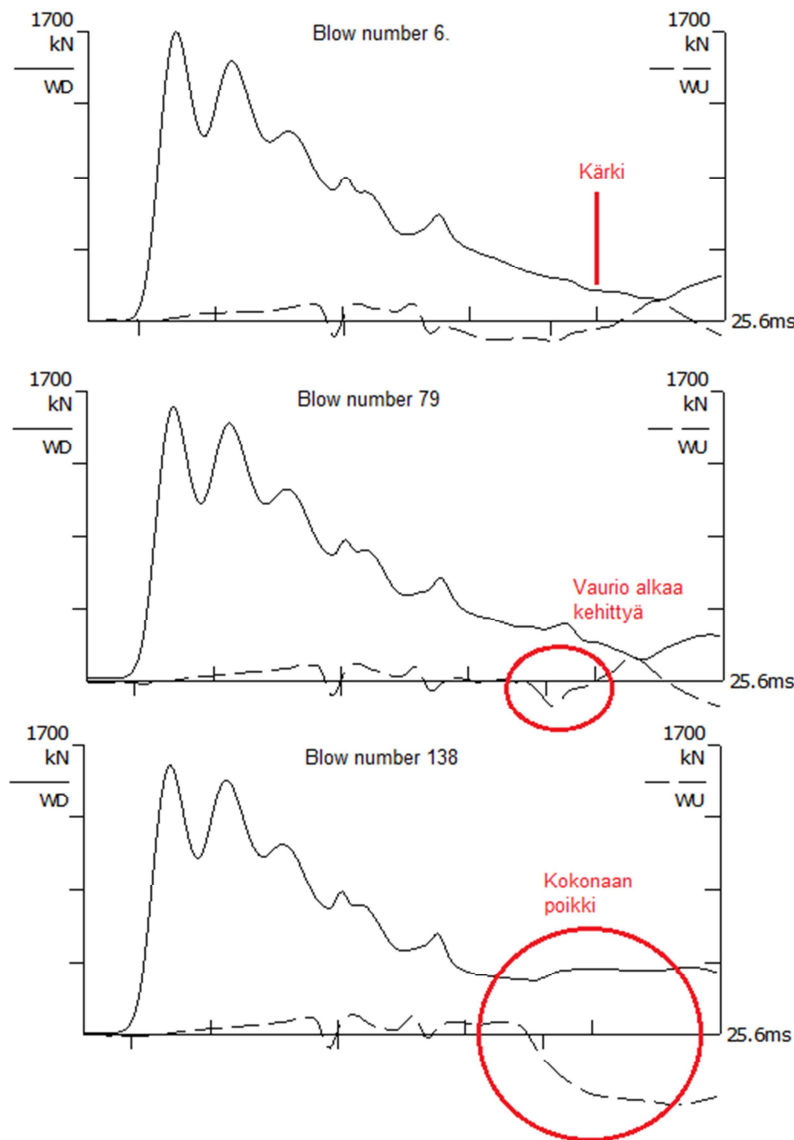
Kuva 7.5. Zatelliitin pohjoisen päädyn teräsputkipaalujen geoteknisen kestävyyskasvu ajan suhteen.



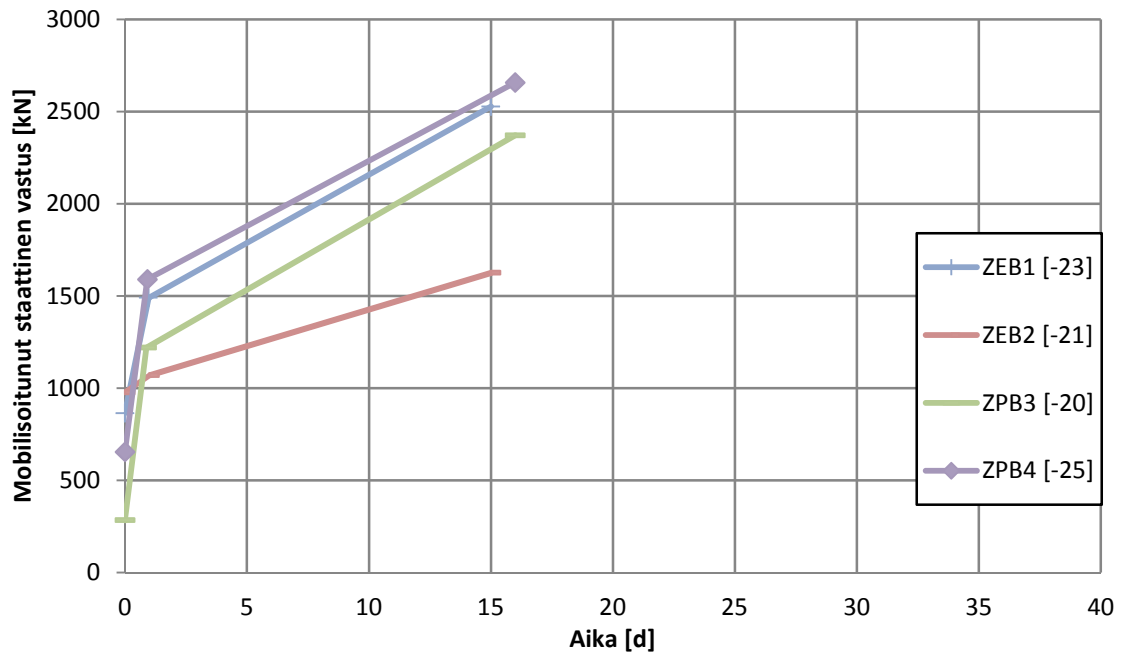
Kuva 7.6. *Zatelliitin pohjoisen päädyn teräspalkkipaalujen vaippakestävyyden kasvu ajan suhteen.*

Todellisuudessa paalujen geoteknisen kestävyyskasvu ei ole lineaarista, kuten kuvissa 7.5 ja 7.6. Kolmannella koekuormituskerralla paaluja ei pystytty kuormittamaan murtoon, joten kuvaajissa ei ole näkyvissä taitetta 16 vuorokauden kohdalla. Kuvien perusteella paalun ZPT5 irrottelu saattoi hieman häiritä paalun geoteknisen kestävyyskasvua 16 vuorokauden jälkeen. Kuvan 7.5 perusteella paaluilla ZPT4 ja ZPT6 on lähes sama geotekninen kestävyys, vaikka paalu ZPT4 on noin 10 m pidempi kuin ZPT6. Syynä tähän voi olla se, että paalun ZPT6 kohdalla tiukemmat maakerrokset tulevat vastaan selkeästi ylempänä kuin paalun ZPT4 kohdalla. Zatelliitin kairausprofiilit on nähtävissä liitteessä 1.

Zatelliitin teräsbetonipaaluilla sallitut jännitykset rajoittivat käytettävää lyöntienergiaa, eikä kolmannella mittauskerralla enää pystytty mobilisoimaan täydellistä murtokuormaa. Kaikki Zatelliitin teräsbetonipaalut käyttäytyivät samalla tavalla lukuun ottamatta paalua ZEB2, jonka alin paaluelementti meni puolesta välistä poikki sadan lyönnin jälkeen paalun jatkamisesta. Paalun katkeaminen havaittiin dynaamisen koekuormituksen yhteydessä iskuaaltokuvaajista. Kuvassa 7.7. on esitetty vaihe-vaiheelta paalun katkeaminen. Kuvassa 7.8 on esitetty Zatelliitin teräsbetonipaalujen geoteknisen kestävyyskasvu ajan suhteen.



Kuva 7.7. Paalun ZEB2 katkeaminen iskuaaltokuvaajien perusteella.



Kuva 7.8. *Zatelliitin teräsbetonipaalujen geoteknisen kestävyyskasvu ajan suhteen.*

Teräsbetonipaalujen geoteknisen kestävyyskasvua ei voitu verrata teräsputkipaalujen geoteknisen kestävyyskasvuun, koska teräsbetonipaaluja ei voitu kuormittaa murtoon asti sallittujen lyöntijännitysten rajoittaessa käytettävää lyöntienergiaa. Kolmannen mittaukskertaan asti teräsbetonipaalujen käyttäytyminen oli kuitenkin samankaltaista kuin teräsputkipaalujenkin. Verrattaessa 14 vuorokauden kohdalla paalujen vaippakestävyyttä (kN/m^2), jossa oli huomioitu teräs- ja betonipaalujen vaippapinta-alojen ero, ei merkittäviä eroavaisuuksia ollut havaittavissa. Tulkintaa häiritsi, kun osalla paaluista koko geotekninen kestävyys pystyttiin mobilisoimaan ja osalla ei. Johtopäätöksiä paalumateriaalien välisistä eroavaisuuksista geoteknisen kestävyyskasvuun ajan suhteen ei pystytty tekemään, koska teräsbetonipaaluilla ei tehty 28 vuorokauden koekuormituksia.

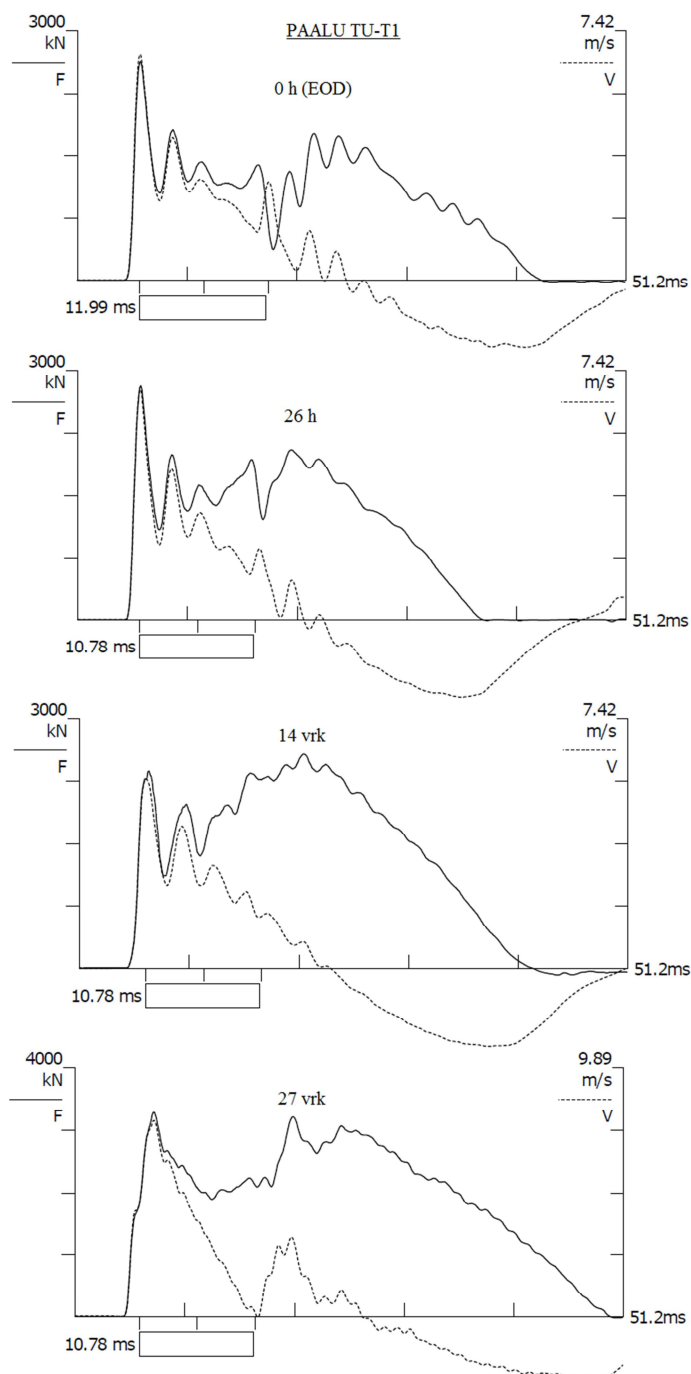
7.2.2 Tuuliharju

Tuuliharjussa tutkittiin siis kolmen teräsputkipaalun RR320/10 ja kahden teräsbetonipaalun tb300b geoteknisen kestävyyskasvua ajan suhteen. Tuuliharjussa paalujen geotekninen kestävyys ei kasvanut yhtä hyvin kuin Zatelliitissa. Tuuliharjussa varsinkin paalujen vaippakestävyyskasvu oli heikompaa kuin Zatelliitissa. Tuuliharjussa tiukat kerrokset tulivatkin aikaisemmin vastaan, ja vain paaluilla TU-T1 ja TU-B2 saavutettiin suunniteltu tavoitetaso.

Tuuliharjussa paalujen välilläkin oli selkeitä eroja geoteknisen kestävyyskasvussa ajan suhteen. Paalun TU-T1 geotekninen kestävyys kasvoi lähes samalla tavalla kuin teräsputkipaalut Zatelliitissa, kun taas paaluilla TU-T2 ja varsinkin TU-T3 kasvu oli selkeästi heikompaa ja geotekninen kestävyys viimeisen mittauksen jälkeen muihin mi-

tattuihin paaluihin nähden alhainen. Kuvassa 7.9 on esitetty paalun TU-T1 iskuaaltokuvaajat kaikista mittausvaiheista.

Kuljettaessa paalusta TU-T1 kohti paalua TU-T3 paksunee savinen siltti/laiha savi kerros huomattavasti, jolla pystyy selittämään paalujen TU-T2 ja TU-T3 heikomman vaippakestävyyskasvun. Paaluilla TU-T2 ja TU-T3 on korkea kärkikestävyys ja matala vaippakestävyys. Oletettavasti savisessa siltti/laihassa savi kerroksessa vaippakestävyyskasvuun kuluu aikaa enemmän kuin silttisessä hiekassa / hiekkaisessa siltissä. Viimeinen mittaus suoritettiin siis 27 vuorokauden kuluttua paalujen upotuksesta, joten ei voida sanoa kestääkö paalujen vaippakestävyyskasvu Tuuliharjussa vain pidempään, koska maakerrokset ovat selkeästi hienorakeisempia kuin Zatelliitissa.

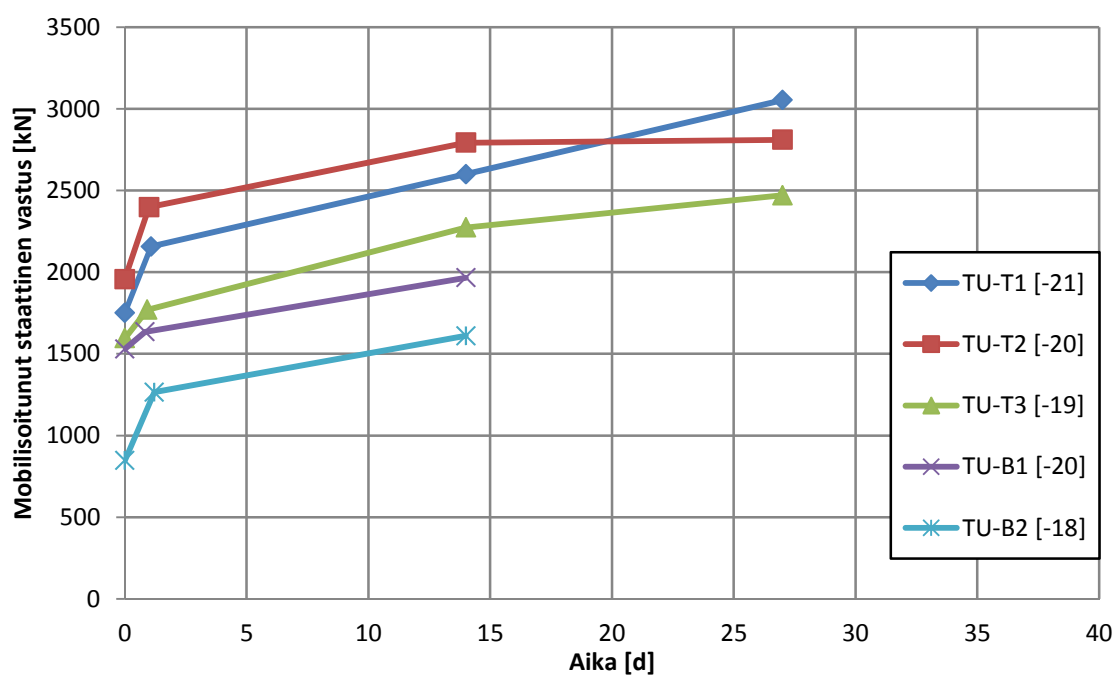


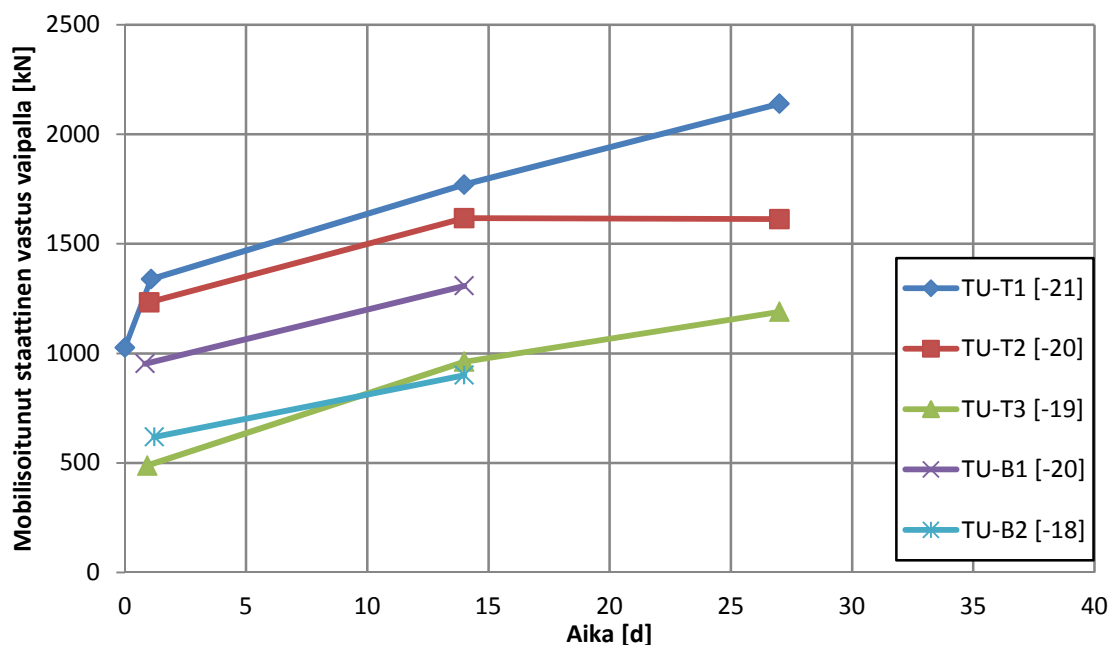
Kuva 7.9. Paalun TU-T1 iskuaaltokuvaajat kaikista neljästä mittausvaiheesta.

Kuvasta 7.9 nähdään, ettei paalulla TU-T1 ole mobilisoitu kärkivastusta 26 h ja 14 vuorokauden mittauksissa, koska kärkiheijastusta ei ole nähtävissä kuten 27 vuorokauden mittauksessa. Tuuliharjussa yhdestäkään paalusta ei pystytty mobilisoimaan täydellistä murtokuormaa toisella ja kolmannella mittauksella. Taulukossa 15 on esitetty Tuuliharjun paalujen CAPWAP-analyysien tulokset. Kuvassa 7.10 on esitetty Tuuliharjun paalujen geoteknisen kestävyysajan suhteen ja kuvassa 7.11 on esitetty samojen paalujen vaippakestävyysajan suhteen.

Taulukko 15. *Tuuliharjun koepaalujen CAPWAP-analyysien tulokset.*

Paalu-tunnus	LE [m]	Aika asennuksesta	Geotekninen kestävyys, Case Method [kN]	Geotekninen kestävyys, CAPWAP [kN]			Painuma per lyönti [mm]	EMX [kNm]
				Yhteensä	Vaippa	Kärki		
TU-T1	30,7	EOD	1711	1751	1027	724	17	64,3
		26 tuntia	2119	2157	1339	818	11	68,2
		14 vuorokautta	2560	2599	1771	828	7	77,6
		28 vuorokautta	3085	3053	2140	913	20	145,1
TU-T2	31,6	EOD	1958	1957			10	62,9
		24 tuntia	2265	2398	1233	1165	8	66,9
		14 vuorokautta	2774	2792	1617	1175	5	69,5
		28 vuorokautta	2830	2810	1613	1197	24	152,3
TU-T3	32,7	EOD	1595	1595			16	68,3
		22 tuntia	1746	1770	487	1283	13	73
		14 vuorokautta	2314	2273	962	1311	15	69,9
		28 vuorokautta	2479	2470	1190	1280	25	136,4
TU-B1	25,9	EOD	1530	1530			8	37,7
		20 tuntia	1635	1662	953	709	8	46,2
		14 vuorokautta	1966	2100	1308	792	6	60,8
		28 vuorokautta						
TU-B2	24,2	EOD	847	847			18	25,9
		29 tuntia	1079	1265	618	647	10	32,4
		14 vuorokautta	1605	1610	900	710	11	63,6
		28 vuorokautta						

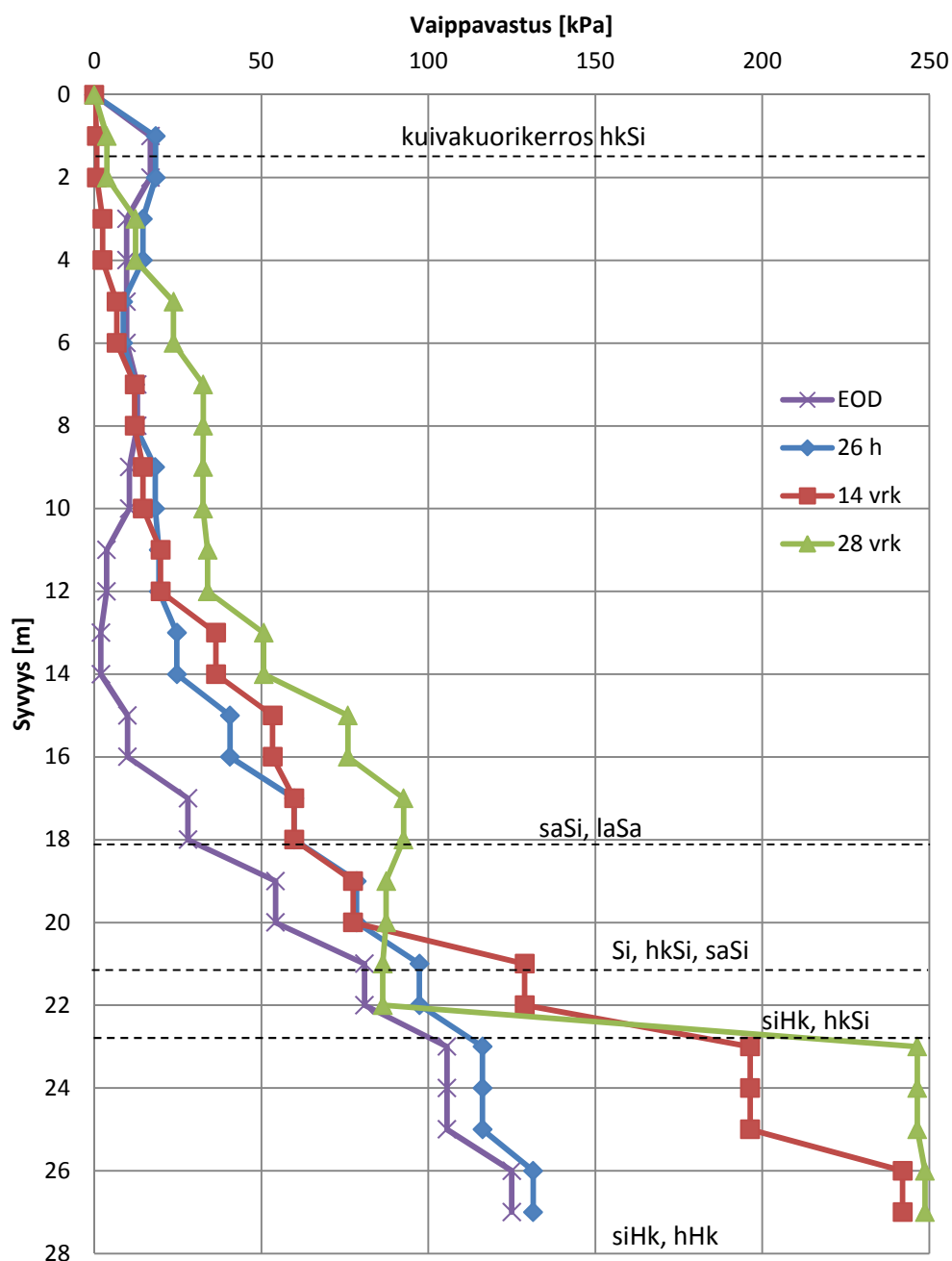
**Kuva 7.10.** *Tuuliharjun teräsputki- ja teräsbetonipaalujen geoteknisen kestävyuden kasvu ajan suhteen.*



Kuva 7.11. Tuuliharjun teräsputki- ja teräsbetonipaalujen vaippakestävyyden kasvu ajan suhteen.

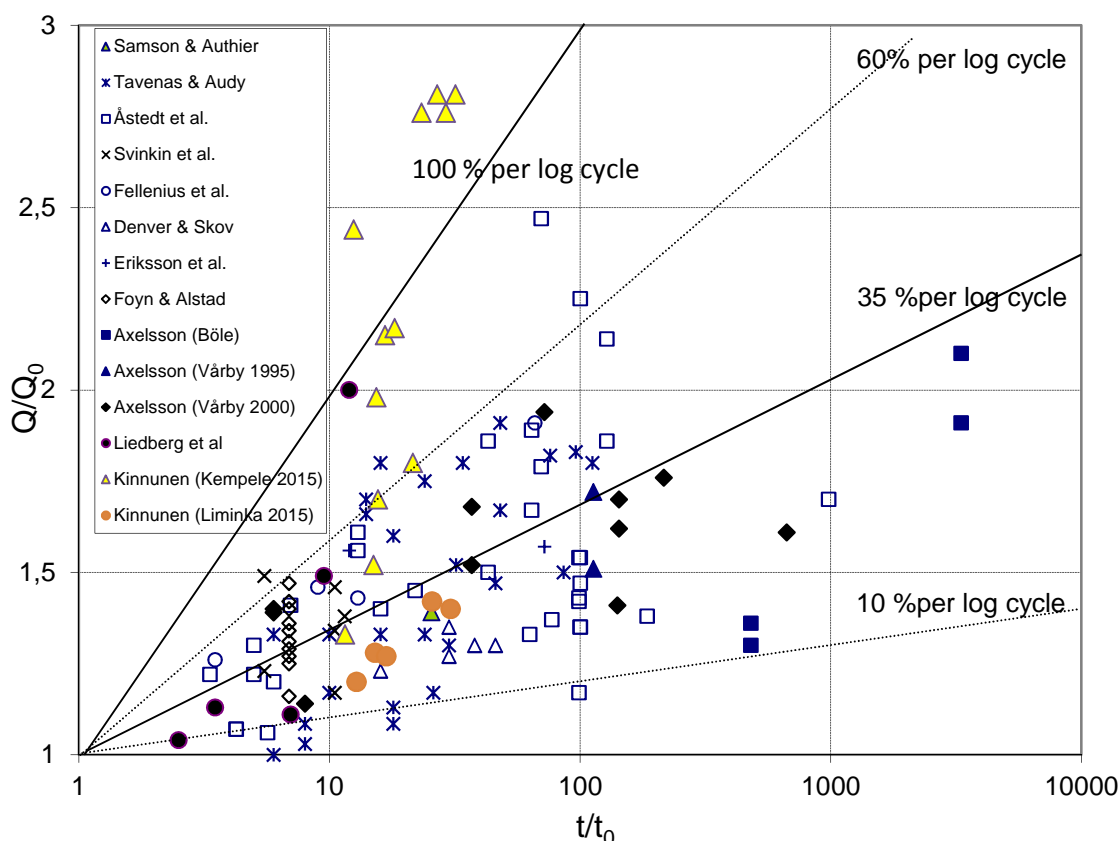
Kuvissa 7.10 ja 7.11 kuvaajien muoto ei edusta todellista tilannetta alkupään osalta, koska paaluja ei pystytty kuormittamaan murtoon asti, jonka vuoksi kasvu näyttää lähes lineaariselta, lukuun ottamatta paalua TU-T2, jonka geotekninen kestävyys ei kahden viimeisen viikon aikana kasvanut ollenkaan. Paalua TU-T2 upotettiin vielä noin 1 m kolmannella mittauskerralla, joten paalun kasvu alkoi käytännössä alusta ja viimeinen mittauskertta edustaa kahden viikon seisona-aikaa. Myöskään Tuuliharjussa ei kuormitettu teräsbetonipaaluja viimeisellä mittauskerralla.

Kuvassa 7.12 on esitetty Tuuliharjun koepaalun TU-T1 vaippavastuksen kasvu upotussyvyyden funktiona CAPWAP-analyyysien perusteella. Kuvan 7.12 perusteella vaippavastus kasvoi mittauskertojen välillä selkeästi noin 12–14 m syvyydestä alaspäin. Samoin kuin Zatelliitissa, niin myös Tuuliharjussa vaippavastuksen kasvu alkaa samalta syvyydeltä, jossa puristinheijarikairauksessa kairan upotusmenetelmä vaihtuu puristuksesta heijariin. Tämän perusteella vaippavastuksen kasvu tapahtuu 28 vuorokauden aikana tiukemmissa kerroksissa, eikä niinkään pehmeissä savea sisältävissä kerroksissa.



Kuva 7.12. Paalun TU-T1 vaippavastuksen kasvu paalun upotussyvyyden funktiona CAPWAP-analyysien perusteella.

Koekohteilta saadut mittaustulokset on siirretty työssä aikaisemmin esitettyyn kuvaan 4.1. Yhdistetyt tutkimustulokset on esitetty kuvassa 7.13. Kuvan on alun perin esittänyt Axelsson & Baker (2007).



Kuva 7.13. Koekohteiden mittaustulokset esitettynä Axelsson & Baker (2007) keräämien/tekemien tutkimustuloksien kanssa.

Kuvassa 7.13 on jätetty esittämättä koekohteiden mittaustuloksista ne, joissa ei varmuudella pystytty mobilisoimaan geoteknistä kestävyyttä toisella mittauskerralla. Geoteknisen kestävyuden oletettiin mobilisoituneen paaluilla, joilla painuma oli yli 10 mm toisella mittauskerralla. Q_0 on siis geotekninen kestävyys huokosveden ylipaineen purkauttua. Tuuliharjun paaluilla TU-T2 ja TU-B1 ja Zateeliitin paaluilla ZET3, ZPB3 ja ZPB4 ei mobilisoitu geoteknistä kestävyyttä toisella mittauskerralla, joten näiden paalujen mittaustuloksia ei ole esitetty kuvassa. Tuuliharjun tulokset noudattelevat selkeästi samaa linjaa kuin muutkin tutkimustulokset. Zateeliitin paaluilla geoteknisen kestävyuden kasvu on ollut selkeästi voimakkaampaa ja osalla paaluista kasvua on tapahtunut yli 100 % per ajan logaritmiaväli. Kuvassa neljän paalun ryhmä, jolla on tapahtunut eniten kasvua, ovat selkeät kitkapaalut ZET1, ZPT4, ZPT5 ja ZPT6.

7.2.3 Dynaaminen paalutuskaava

Paalutusohjeessa 2011 esitetyn dynaamisen paalutuskaavan (RIL 254-2011 s. 76-77) toimivuutta kokeiltiin koekohteiden paaluilla. Maaperäkertoimen k_3 käytettiin aluksi arvoa 0,6, jolla laskettiin paalujen geotekninen puristuskestävyys ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla ajanhetkillä $t=0$ h ja $t=24$ h. Sen jälkeen etsittiin maaperäkerroin, jolla laskettu arvo saatiin vastaamaan mitattua arvoa. Iskutyynyn tehokkuuskertoimen k_2 käytettiin teräsputkipaaluilla arvoa 1,0. Teräsbetonipaaluilla iskutyynyn tehokkuus-

kertoimena käytettiin arvoa 0,8, koska käytössä oli puinen iskusuoja. Dynaamisessa paalutuskäytössä tarvittava painuma, jousto ja energia mitattiin dynaamisten koekuor- mitusten yhteydessä.

Taulukossa 16 on esitetty dynaamisen paalutuskäytön antamat tulokset ensimmäisellä (EOD) ja toisella (24 h) mittaushetkellä. EOD-hetkellä maaperäkerroin k_3 vaihteli välillä 0,36–1,12, kun ohjeellinen arvo hiekassa on 0,6–0,7. Kahdella paalulla dynaamisen paalutuskäytön antama arvo vastasi tarkasti mitattua arvoa. Tuloksista on selkeästi havaittavissa, että dynaaminen paalutuskäyttö toimii heikosti paaluilla, joilla painuma koekuormitusiskulla oli suuri.

Taulukko 16. Koepaalujen geotekninen kestävyys dynaamisella paalutuskäytöllä.

t=0										Mitattu / Laskettu	k_3 , jolla vastaavuus
Paalu	LE [m]	RMX [kN]	s [mm]	c [mm]	EMX [kNm]	s/10 [mm]	k_3	k_2	R_c [kN]	RMX / R_c	
ZET1	30,9	301	75	15	68,9	151	0,6	1	501	0,60	0,36
ZET2	35	1363	18	29	63,7	123	0,6	1	1176	1,16	0,69
ZET3	38,8	1814	6	34	59,7	30	0,6	1	1557	1,16	0,69
ZPT4	37,7	454	45	18	63,4	184	0,6	1	704	0,64	0,38
ZPT5	33,6	480	90	4	74,2	268	0,6	1	484	0,99	0,59
ZPT6	27,6	303	90	24	75,4	254	0,6	1	444	0,68	0,41
ZEB1	31	864	31	8	35,3	175	0,6	0,8	484	1,78	1,07
ZEB2	27,5	535	24	12	33,3	139	0,6	0,8	533	1,00	0,6
ZPB3	27,5	283	39	7	21,4	210	0,6	0,8	242	1,17	0,7
ZPB4	32,8	654	55	4	41,7	147	0,6	0,8	351	1,86	1,12
TU-T1	30,7	1711	17	28	64,3	70	0,6	1	1245	1,37	0,82
TU-T2	31,6	1957	10	32	62,9	35	0,6	1	1452	1,35	0,81
TU-T3	32,7	1595	16	34	68,3	26	0,6	1	1242	1,28	0,77
TU-B1	25,9	1530	8	19	37,7	30	0,6	0,8	1034	1,48	0,88
TU-B2	24	847	18	12	25,9		0,6	0,8	518	1,64	0,98
t≈24 h										Mitattu / Laskettu	k_3 , jolla vastaavuus
Paalu	LE [m]	RMX [kN]	s [mm]	c [mm]	EMX [kNm]		k_3	k_2	R_c [kN]	RMX / R_c	
ZET1	30,9	1170	25	14	60,6		0,6	1	1136	1,03	0,62
ZET2	35	1917	9	26	54,3		0,6	1	1481	1,29	0,77
ZET3	38,8	2078	4	34	61,9		0,6	1	1769	1,17	0,7
ZPT4	37,7	1217	19	22	62,2		0,6	1	1244	0,98	0,59
ZPT5	33,6	1366	23	16	64,4		0,6	1	1246	1,10	0,66
ZPT6	27,6	1253	29	9	61,7		0,6	1	1105	1,13	0,68
ZEB1	31	1537	12	10	44		0,6	0,8	1242	1,24	0,74
ZEB2	27,5	1018	17	10	44,6		0,6	0,8	973	1,05	0,63
ZPB3	27,5	1207	4	18	37,7		0,6	0,8	1392	0,87	0,52
ZPB4	32,8	1629	6	16	39,9		0,6	0,8	1368	1,19	0,71
TU-T1	30,7	2119	11	28	68,2		0,6	1	1637	1,29	0,78
TU-T2	31,6	2318	8	30	66,9		0,6	1	1745	1,33	0,8
TU-T3	32,7	1940	13	30	73		0,6	1	1564	1,24	0,75
TU-B1	25,9	1635	8	18	46,2		0,6	0,8	1304	1,25	0,75
TU-B2	24	1079	10	14	32,4		0,6	0,8	915	1,18	0,71

Dynaamisella paalutuskäytöllä lasketut arvot vastasivat selkeästi paremmin mitattuja arvoja, kun laskenta tehtiin toisen mittauskerran tuloksille. Toisella mittauskerralla painumat olivat selkeästi maltillisempia, joka varmasti selittää osaltaan paremman vastaavuuden mitatun ja lasketun arvon välillä. Toisen mittauskerran tuloksilla maaperäkerroin k_3 vaihteli välillä 0,52–0,78. Dynaaminen paalutuskäyttö onkin tarkoitettu lähinnä tukipaalujen geoteknisen kestävyysarvioinnin varten.

Tuuliharjussa, jossa paalut olivat enemmän tukipaalumaisia, oli mitatun ja lasketun kestävyys suhde varsin vakio ja aina selkeästi varmalla puolella. Tämän perusteella tukipaalumaisissa olosuhteissa saadaan siis hyvällä todennäköisyydellä varmalla puolella oleva arvio paalun geoteknisestä kestävydestä dynaamisella paalutuskäytöllä. Todellista varmuutta tulee kuitenkin ehkä liikaa, kun huomioidaan dynaamisen paalutuskäytön

antamien tuloksien varmuus ja eurokoodien korrelaatiokertoimet. Dynaamiset koe-kuormitukset ovat siis erittäin perusteltuja myös tukipaaluukohteissa.

7.3 Vaimennuskerroinanalyysi

Paalujen vaippavastuksen kasvaessa RMX-estimaatin laskenta muuttuu herkemmäksi CASE-menetelmän vaimennuskertoimen, J_c , muutoksille. Kaavan 5.2 mukaisesti vaimennuskertoimen merkitys kasvaa, mitä suurempi on nopeuskuvaajan ero voimakuvajaan ajanhetkellä t_1 . Kitkapaaluilla tämä ero on usein suuri, jolloin vaimennuskertoimen vaihtelu vaikuttaa laskentatuloksiin merkittävästi. Tukipaaluilla ei eroa ajanhetkellä t_1 juurikaan ole, jolloin vaimennuskertoimella ei ole niin suurta merkitystä. Taulukon 17 oikeanpuoleisimmassa sarakkeessa on esitetty koepaalujen CAPWAP-analyyseistä saadut CASE-menetelmän vaimennuskertoimen arvot eri mittaushetkillä.

Taulukko 17. Koepaalujen CASE-menetelmän vaimennuskertoimen arvot.

Paalun Numero	Aika asennuksesta	Geotekninen kestävyys, Case Method [kN]	Geotekninen kestävyys, CAPWAP [kN]			Painuma per lyönti [mm]	Jc
			Yhteensä	Vaippa	Kärki		
ZET1	EOD	301	301			75	
	29 tuntia	1148	1075	821	254	25	0,67
	15 vuorokautta	2551	2619	1977	642	8	0,48
	28 vuorokautta	3036	2965	2157	808	22	0,65
ZET2	EOD	1363	1363			18	
	31 tuntia	1917	1882	1196	686	9	0,62
	15 vuorokautta	2436	2494	1819	675	2	0,49
	28 vuorokautta	3327	3386	2314	1072	10	0,65
ZET3	EOD	1814	1816	863	953	6	0,52
	30 tuntia	2078	2116	1477	639	4	0,58
	15 vuorokautta	2549	2614	1947	667	1	0,51
	28 vuorokautta	3561	3688	2350	1338	3	0,38
ZEB1	EOD	864	864			31	
	23 tuntia	1537	1490	747	743	12	0,6
	15 vuorokautta	2463	2528	1628	900	6	0,56
ZEB2	EOD	977	977			24	
	24 tuntia	1356	1070	281	790	17	0,68
	15 vuorokautta	1954	1626	734	891	10	0,71
ZPT4	EOD	454	572	378	194	45	0,49
	25 tuntia	1217	1238	1009	229	19	0,57
	16 vuorokautta	2555	2450	1943	507	6	0,61
	28 vuorokautta	3533	3489	2715	773	17	0,6
ZPT5	EOD	480	480			90	
	23 tuntia	1366	1244	957	287	23	0,73
	16 vuorokautta	2726	2676	1849	827	7	0,61
	28 vuorokautta	3450	3441	2492	949	8	0,6
ZPT6	EOD	303	303			90	
	21 tuntia	1253	1270	922	347	29	0,56
	16 vuorokautta	2738	2755	1698	1057	4	0,56
	28 vuorokautta	3722	3575	2477	1098	12	0,66
ZPB3	EOD	283	283			39	
	21 tuntia	1203	1219	970	249	4	0,6
	16 vuorokautta	2518	2372	1588	784	6	0,65
ZPB4	EOD	654	654			55	
	22 tuntia	1629	1590	1020	570	6	0,61
	16 vuorokautta	2526	2658	1755	903	5	0,53
TU-T1	EOD	1711	1751	1027	724	17	0,4
	26 tuntia	2119	2157	1339	818	11	0,55
	14 vuorokautta	2560	2599	1771	828	7	0,49
	28 vuorokautta	3085	3053	2140	913	20	0,6
TU-T2	EOD	1958	1957			10	
	24 tuntia	2265	2398	1233	1165	8	0,35
	14 vuorokautta	2774	2792	1617	1175	5	0,44
	28 vuorokautta	2830	2810	1613	1197	24	0,59
TU-T3	EOD	1595	1595			16	
	22 tuntia	1746	1770	487	1283	13	0,53
	14 vuorokautta	2314	2273	962	1311	15	0,61
	28 vuorokautta	2479	2470	1190	1280	25	0,59
TU-B1	EOD	1530	1530			8	
	20 tuntia	1635	1662	953	709	8	0,5
	14 vuorokautta	1966	2100	1308	792	6	0,47
TU-B2	EOD	847	847			18	
	29 tuntia	1079	1265	618	647	10	0,5
	14 vuorokautta	1605	1610	900	710	11	0,6

Yleisesti voidaan sanoa, että vaippakestävyys kasvaessa myös CASE-menetelmän vaimennuskerroin kasvaa. Normaalisti myös painuman kasvaessa vaimennuskerroin

kasvaa. Taulukon 17 vaimennuskertoimien avulla ei voida kuitenkaan suoraan osoittaa, että edellä esitetyt säännöt pätevät jokaisessa tapauksessa.

Paalutusohjeessa (RIL-254 2011) esitetyt vaimennuskertoimen ohjeelliset arvot pätevät hyvin koekohteiden paaluille. Tukipaaluille ohjeistetaan käytettäväksi vaimennuskertoimen arvoa 0,5, joka näyttää ainakin koekohteiden paalujen kohdalla olevan varsin hyvä ohjearvo. Kitkapaaluille ohjeistetaan käytettäväksi arvoa 0,6, jos ei tehdä signaalinmallinnusta. Myös kitkapaaluilla arvo 0,6 näyttää koekohteiden paaluilla olevan hyvä ohjearvo. Kitkapaalukohteissa on kuitenkin aina hyvin suositeltavaa tehdä signaalinmallinnus ja samalla määrittää vaimennuskerroin tarkemmin.

7.4 Virhelähteet ja toistettavuus

Kaikilta osin tämän kaltainen tutkimus sisältää erilaisia virhelähteitä. Tutkimuksen virhelähteitä ovat: dynaaminen koekuormitus, koekuormituskaluston vaihtelu, CAPWAP-analyysit ja mittaustuloksien määrä. Virhelähteiden merkitys tutkimuksen lopputulokseen todettiin kuitenkin verrattain pieneksi.

Staattisten koekuormitusten avulla olisi pystytty eliminoimaan joitakin virhelähteitä ja vertaamaan dynaamisten ja staattisten koekuormitusten tuloksia keskenään. Staattisten koekuormitusten avulla olisi pystytty arvioimaan dynaamisten koekuormitustuloksien luotettavuutta. Kaikille paaluille ei olisi tarvinnut tehdä sekä dynaamista että staattista koekuormitusta, vaan osalla paaluista olisi kalibroitu koekuormitustyyppit keskenään. Dynaaminen koekuormitus on kuitenkin tutkittu ja luotettava tapa määrittää paalun geotekninen kestävyys, mutta virheettömänä tapana sitä ei kuitenkaan voida pitää. Myöskään staattista koekuormitusta ei voida pitää täysin luotettavana, mutta tehtäessä molemmat koekuormitustavat, voidaan saatua tulosta pitää erittäin luotettavana.

Ideaalitilanteessa upotuksen jälkeen olisi jokaisessa mittausvaiheessa käytetty samaa pudotusjärkälettä, jolla olisi pystytty kuormittamaan paalut aina murtoon asti. Tällöin tuloksien tulkinta olisi ollut selkeämpää ja välimittauksista olisi saatu suurempi hyöty irti. Myös kalustosta johtuvat virheet olisivat rajautuneet vain yhteen pudotusjärkäleeseen ja kokeiden toistettavuus olisi ollut helpompaa.

CAPWAP-analyyseissä päästiin hyviin vastaavuuksiin ja *match quality* oli aina alle 2, betonipaaluja lukuun ottamatta. CAPWAP-analyysit ovat aina toistettavissa ja tulokset ovat tekijästä riippumatta lähes samoja vastaavuusarvojen ollessa hyviä. Pieniä eroavaisuuksia analyysien välillä voi olla, mutta tuloksien tulkinnan kannalta eroja ei ole.

Tuloksien tulkintaa häiritsee se, kun samalla koekohteella pohjasuhteet saattoivat muuttua merkittävästi, jolloin vierekkäisten paalujen mittaustuloksissa saattoi olla suuriakin eroja. Selkeiden johtopäätösten tekeminen vaatii aina riittävän suuren määrän mittaus-tuloksia.

7.5 Pohjatutkimustuloksiin perustuvat laskelmat

Tässä alaluvussa esitellään koekohteissa tehtyjen pohjatutkimuksien perusteella lasketut paalujen geotekniset kestävyysarvot. Esitettyjen laskentojen tarkoituksena on havainnollistaa luvussa 3 esitettyjen menetelmien käyttöä. Kaikkia luvussa 3 esitettyjä menetelmiä ei voida käyttää molemmilla koekohteilla, koska kaikkia tarvittavia kairauksia ei ollut saatavilla sopivalla etäisyydellä koepaaluista. Samasta syystä samaa menetelmää ei voinut myöskään käyttää monella koekohteen paalulle. Tällöin olisi pystytty vertailemaan tuloksia ja arvioimaan menetelmän toimivuutta, sekä tarvittaessa korjaamaan laskentatapaa vastaamaan koekohteiden olosuhteita. Kairausvastuksiin perustuvat laskelmat on esitetty koekohtaisesti omissa alaluvuissaan.

7.5.1 Zatelliitti

Zatelliitissa staattista kantavuuskaavaa, heijari- ja puristin-heijarikairausmenetelmää käytettiin paalulle ZPT4 ja puristinkairausmenetelmää sekä ICP-metodia käytettiin paalun ZET1 alimmaiselle paaluelementille. Kaikkia pohjatutkimustuloksiin perustuvia laskentamenetelmiä ei voinut käyttää samalle paalulle, koska kaikkia tarvittavia kairauksia ei oltu tehty sopivalla etäisyydellä samasta paalusta.

CPTU-kairaukset eivät ulottuneet yhtä syvälle kuin muut kairaukset, joten CPTU-kairaustietojen avulla laskettua geoteknistä kestävyyttä verrattiin ensimmäisen paaluelementin dynaamisten koekuormitusten tuloksiin. Paalun ZET1 ensimmäisellä paaluelementillä oli 7 vuorokauden mittainen seisona-aika, jonka pitäisi karkeasti vastata ICP-metodilla laskettua geoteknistä kestävyyttä. ICP-metodissa lasketaan paalun geoteknistä kestävyyttä 10 vuorokauden seisona-ajan jälkeen.

Paalun ZET1 ensimmäisen paaluelementin geotekninen kestävyys laskettiin VR09 CPTU-kairauksen perusteella. ICP-metodilla saatiin alhaisempi geotekninen kestävyys kuin Bustamante & Giasenellin (1982) kehittämällä LCPC-menetelmällä. Myös LCPC-menetelmällä saatiin paalun geoteknistä kestävyyttä aliarvioiva tulos. ICP-metodilla laskettu arvo on noin 40 % pienempi kuin mitattu arvo. ICP-metodin epätarkkuus johtuu oletettavasti siitä, että menetelmän kannalta tärkeitä parametreja ei ole määritetty koekohteilta. ICP-metodin tarkkuuden ja luotettavuuden kannalta tärkeitä lähtötietoja on CPT/CPTU-kairauksien lisäksi maan tilavuuspaino ja paalun ja maan välisen rajapinnan leikkauskestävyyskulma.

Taulukossa 18 on esitetty kootusti eri laskentamenetelmillä lasketut geotekniset kestävyysarvot paaluille ZPT4 ja ZET1. Paalujen mitattuna arvona on käytetty 28 vuorokauden mittauksen CAPWAP-analyysistä saatua arvoa, jolloin myös vaipan ja kärjen laskettua arvoa voidaan verrata CAPWAP-analyysistä saatuihin arvoihin. Paalun ZET1 mitattu ja laskettu arvo edustavat 7 vuorokauden tulosta. Paalun ZET1 ensimmäiselle paaluele-

mentille ei ole tehty CAPWAP-analyysiä, joten vertailua vaipan ja kärjen kestävyyksien osalta ei voitu tehdä.

Taulukko 18. *Zatelliitin koekohteella kairausvastukseen perustuvilla menetelmillä lasketut paalujen geotekniset kestävyyydet sekä mitatut kestävyyydet.*

Zatelliitti		Laskettu				
Menetelmä	Kairauspiste	Paalu	Paalupituus [m]	Vaippa [kN]	Kärki [kN]	Yhteensä [kN]
Staatinen kantavuuskaava	R756	ZPT4	37	3446	1236	4680
kriittinen syvyys 10*D	R756	ZPT4	37	666	869	1535
kriittinen syvyys 20*D	R756	ZPT4	37	1249	1236	2485
Heijarikairaus	R756	ZPT4	37	2305	1229	3530
Puristin-heijarikairaus	R747	ZPT4	37	2717	494	3211
Laskettu 7 vrk						
Puristinkairaus	VR09	ZET1	14	490	93	537
ICP-method	VR09	ZET1	14	324	86	410
Mitattu 28 vrk						
Kairauspiste	Paalu			Vaippa [kN]	Kärki [kN]	Yhteensä [kN]
R756	ZPT4			2716	773	3489
R747	ZPT4			2716	773	3489
Mitattu 7 vrk						
VR09	ZET1					687
Menetelmä	Mitattu/Laskettu	Vaippa	Mitattu/Laskettu	Kärki	Mitattu/Laskettu	Yhteensä
Staatinen kantavuuskaava		0,79		0,63		0,75
kriittinen syvyys 10*D		4,08		0,89		2,27
kriittinen syvyys 20*D		2,17		0,63		1,40
Heijarikairaus		1,18		0,63		0,99
Puristin-heijarikairaus		1,00		1,56		1,09
Puristinkairaus						
						1,28
ICP-method						1,68

Paalun ZPT4 geotekninen kestävyys laskettiin luvussa 3 esitetyllä staattisella kantavuuskaavalla. Staattisessa kantavuuskaavassa tarvittava maan kitkakulma arvioitiin epäsuorasti kairausvastuksen avulla. Arvioinnissa käytettiin pisteessä R756 tehtyä heijarikairausa. Staattinen kantavuuskaava selkeästi yliarvioi paalun geoteknisen kestävyysden. Staattinen kantavuuskaava soveltuukin lähinnä vain suuruusluokkatarkasteluun, koska parametrit ovat vain karkeita arvioita. Myös staattisen kantavuuskaavan käyttö vaatii maan tilavuuspainon ja leikkauskestävyyskulman määrittämistä paalun upotussyvydeltä, jotta kaavalla saada tarkempia tuloksia.

Staattiselle kantavuuskaavalle tehtiin herkkyytstarkastelua kriittisen syvyyden suhteen. Aluksi paalun geotekninen kestävyys laskettiin Paalutusohjeen mukaisesti ilman jännitysten rajoittamista, koska paalun halkaisija oli alle 400 mm. Ilman kriittistä syvyyttä laskettu kestävyys oli selkeästi suurempi kuin 28 vuorokauden mittaustulos. Jännitysten rajaaminen kriittisellä syvyydellä 10*D pudotti staattisen kantavuuskaavan antaman arvon kolmannekseen, kun verrataan laskentaan, jossa paalun kärjessä ja vaipalla vaikuttavia jännityksiä ei rajoitettu. Sama laskenta tehtiin kriittisen syvyyden ollessa 20*D, jolloin jännitys oli noin 2 MN alhaisempi kuin laskussa ilman jännitysten rajoittamista.

Kriittisellä syvyydellä 20*D staattisen kantavuuskaavan antama arvo vastasi hyvin 16 vuorokauden mittaustulosta.

Paalun ZPT4 geotekninen kestävyys laskettiin heijarikairausmenetelmällä kairauspisteeseen R756 perusteella. Heijarikairausmenetelmällä laskettu tulos vastasi tarkasti mitattua arvo. Menetelmässä vaippa- ja kärkikestävyys laskettu ja mitattu arvo eivät vastaa toisiaan tarkasti, mutta kokonaiskestävyys on lähes sama kuin mitattu arvo. Heijarikairausmenetelmää ei voitu käyttää muilla paaluilla, joten vertailupohjaa menetelmälle ei ollut saatavilla.

Paalun ZPT4 geotekninen kestävyys laskettiin puristin-heijarikairausmenetelmällä kairauspisteessä R747. Puristin-heijarikairausmenetelmällä laskettu geotekninen kestävyys oli selvästi alhaisempi kuin 28 vuorokauden kohdalla mitattu kestävyys. Laskettu arvo vastaa hyvin 16 vuorokauden seisonta-ajan jälkeen mitattua arvoa, joka oli 2450 kN.

Liitteessä 9 on esitetty kaikkien Zatelliitissa käytettyjen laskentamenetelmien laskentataulukot kokonaisuudessaan. Zatelliitissa eri menetelmät antoivat hyvinkin vaihtelevia tuloksia, eikä saatujen tuloksien perusteella voida vetää johtopäätöksiä menetelmien toimivuudesta. Huomioitavaa on kuitenkin se, että mitattuna vertailuarvona paalulla ZPT4 käytettiin 28 vuorokauden mittausarvoa, jonka pitäisi olla selkeästi suurempi kuin laskettu arvo. Näin ei kuitenkaan ole muuta kuin puristin-heijarikairausmenetelmässä. Menetelmien käyttökelpoisuuden arvioiminen ja muokkaaminen vaatisi lisää pohjatutkimuspisteitä ja enemmän laskentoja jokaisella menetelmällä.

7.5.2 Tuuliharju

Tuuliharjussa paalujen TU-T3 ja TU-B2 geotekninen kestävyys laskettiin staattisella kantavuuskaavalla ja puristin-heijarikairausvastukseen perustuvalla menetelmällä. Tuuliharjussa ei voitu käyttää ICP-metodia, puristin- eikä heijarikairausmenetelmiä, koska tarvittavia pohjatutkimuksia ei ollut tehty koepaalujen läheisyydessä.

Myös Tuuliharjussa staattisessa kantavuuskaavassa tarvittava kitkakulma arvioitiin epäsuorasti kairausvastuksen perusteella. Arvioinnissa käytettiin puristin-heijarikairausta pisteessä S31. Puristin-heijarikairausmenetelmää on käytetty samassa kairauspisteessä S31. Taulukossa 19 on esitetty Tuuliharjun koepaaluille TU-B2 ja TU-T3 laskettu geotekninen kestävyys. Paalujen mitattuna arvona on käytetty CAPWAP-analyyseistä saatuja arvoja.

Taulukko 19. *Tuuliharjun koekohteella kairausvastukseen perustuvilla menetelmillä lasketut paalujen geotekniset kestävyys sekä mitatut kestävyys.*

Tuuliharju				Laskettu		
Menetelmä	Kairauspiste	Paalu	Paalupituus [m]	Vaippa [kN]	Kärki [kN]	Yhteensä [kN]
Staattinen kantavuuskaava	S31	TU-B2	23	1336	1350	2686
Puristin-heijarikairaus	S31	TU-B2	23	768	360	1128
Staattinen kantavuuskaava	S31	TU-T3	24	1285	1236	2521
Puristin-heijarikairaus	S31	TU-T3	24	732	329	1061
Mitattu 14 vrk						
Kairauspiste	Paalu			Vaippa [kN]	Kärki [kN]	Yhteensä [kN]
S31	TU-B2			900	710	1605
Mitattu 28 vrk						
S31	TU-T3			1190	1280	2470
Menetelmä	Mitattu/Laskettu		Vaippa	Mitattu/Laskettu	Kärki	Mitattu/Laskettu Yhteensä
Staattinen kantavuuskaava	0,67			0,53		0,60
Puristin-heijarikairaus	1,17			1,97		1,42
Staattinen kantavuuskaava	0,93			1,04		0,98
Puristin-heijarikairaus	1,63			3,89		2,33

Tuuliharjussa kummallakaan laskentamenetelmällä saadut arvot eivät vastanneet mitattuja arvoja, lukuun ottamatta staattista kantavuuskaavaa paalulle TU-T3. Staattisella kantavuuskaavalla laskettu geotekninen kestävyys paalulle TU-T3 oli lähes sama kuin mitattu arvo. Staattisessa kantavuuskaavassa ei käytetty kriittistä syvyyttä rajoittamaan vallitsevia jännityksiä. Puristin-heijarikairausmenetelmällä lasketut arvot vastaavat paremmin 24 h mittaustuloksia, mutta paalulla TU-T3 24 h mittaustulos on 1770 kN, joka sekin on selkeästi suurempi kuin laskettu arvo. Liitteessä 9 on esitetty myös Tuuliharjun laskentataulukot kokonaisuudessaan.

7.6 Aikatekijän laskenta teoreettisten kaavojen avulla

Koekohteiden paalujen geoteknisen kestävyys kasvu laskettiin luvussa 4 esitetyillä teoreettisilla kaavoilla ja kaavojen antamat tulokset pyrittiin saamaan vastaamaan mitattuja arvoja korjaamalla empiirisiä kertoimia paalu- ja mittaushetkikohtaisesti. Paalun mitattuna arvona käytettiin CAPWAP-analyysistä saatua geoteknistä kestävyyttä.

Skov & Denverin (1998) esittämällä kaavalla 4.12 lasketut arvot saatiin vastaamaan mitattuja arvoja hyvin, kun kerrointa A muutettiin paalu- ja mittaushetkikohtaisesti. Aikaisemmissa tutkimuksissa kerroin A on vaihdellut välillä 0,1–0,8, mutta tämän tutkimuksen koepaaluilla kerroin A vaihteli välillä 0,1–1,25. Tuuliharjussa paalujen geoteknisen kestävyys kasvu ajan suhteen oli selkeästi maltillisempaa ja kerroin A vaihteli 0,1–0,3. Voidaan kuitenkin todeta, että 14 vuorokauden kohdalla kerroin A olisi ollut lähes jokaisella paalulla Zatelliitissa ja Tuuliharjussa suurempi, jos paalut olisi pystytty kuormittamaan murtoon asti. Tällöin 14 ja 28 vuorokauden A-kertoimet olisivat olleet lähes samoja, eikä kerroin A olisi vaihdellut merkittävästi mittaushetkikohtaisesti.

Svinkin (1996) esittämällä kaavalla 4.14 lasketut arvot eivät vastanneet mitattuja arvoja yhtä hyvin kuin Skov & Denverin kaavalla lasketut. Svinkin esitti empiiriselle kertoimelle vaihteluvälin 1,025–1,4, mutta koekohteen paaluilla kerroin vaihteli paalu- ja mittaushetkikohtaisesti 0,9–2,0. Zatelliitin koekohteella paaluilla, jotka olivat asennuksessa lyöty tiukempaan, empiirisen kertoimen vaihteluväli oli 0,95–1,5. Selkeämmillä kitka-paaluilla, jotka oli asennuksessa jätetty löysempään, empiirinen kerroin oli 1,5–2,0. Svinkin kaavaa ei ole tarkoitettu pitkän ajan geoteknisen kestävyyskasvun arviointiin, mutta lyhyelläkin aikavälillä kaava antaa geoteknistä kestävyyttä aliarvioivia tuloksia, jos arvioidaan selkeiden kitkapaalujen geoteknisen kestävyyskasvua ajan suhteen.

Alawneh et al. (2009) esittämä kaava 4.15 antoi hyvin vaihtelevia tuloksia paalu- ja mittaushetkikohtaisesti. Kaavassa käytettiin leikkauskestävyyskulman arvona 33° . Suhteellista tiiviyyttä ei ollut siltapaikalla mitattu, joten kaavaa 4.16 ei voitu käyttää. Myöskään leikkauskestävyyskulmaa ei ollut määritetty paalun upotussyvyydeltä, joten kaavassa käytetty arvo leikkauskestävyyskulmalle on vain karkea arvio. Kaava onkin oletettavasti kehitetty homogeenisiin olosuhteisiin, joissa kitkakulma tai suhteellinen tiiviyys on lähes vakio koko paalun upotussyvyydellä. Kohteissa, joissa maaperä on epähomogeenistä, tulisi kitkakulmana käyttää kitkakulman painotettua keskiarvoa. Selkeästi kummallakaan siltapaikalla Alawneh et al. esittämä kaava ei antanut hyvää vastaavuutta mitatun ja lasketun arvon välille. Ainoastaan Zatelliitin betonipaaluilla 14 vuorokauden mittaus vastasi laskettua arvo suuruusluokkatasolla.

Alawneh et al. esittämää kaavaa ei voida olemassa olevien tietojen pohjalta lähteä muokkaamaan, koska koekohteilla ei ole määritetty leikkauskestävyyskulman tarkkaa arvoa, eikä suhteellista tiiviyyttä. Paaluja ei myöskään saatu kuormitettua murtoon 14 vuorokauden mittauksessa, joten kaavojen muokkaaminen järkevästi on tästäkin syystä mahdotonta. Taulukossa 20 on esitetty kootusti empiirisillä kaavoilla lasketut arvot paaluille. Oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa on esitetty myös empiirisen kertoimen arvo mittausajankohdan mukaan.

Taulukko 20. *Paalun geotekninen kestävyys teoreettisilla aikatekijän laskenta-kaavoilla.*

	Paalu	L [m]	Mitattu [kN]			Laskettu [kN]		Mitattu/Laskettu		Empiirinen kerroin 14 vrk / 28 vrk
			Q_o	$Q_{t \approx 14 \text{ vrk}}$	$Q_{t \approx 28 \text{ vrk}}$	$Q_{t \approx 14 \text{ vrk}}$	$Q_{t \approx 28 \text{ vrk}}$	$\approx 14 \text{ vrk}$	$\approx 28 \text{ vrk}$	
Skov & Denver (1998) Kerroyin A Kaava 4.12	ZET1	30	1075	2619	2965	2615	2942	1,00	1,01	1,25 / 1,2
	ZET2	35	1882	2494	3386	2529	3380	0,99	1,00	0,3 / 0,55
	ZET3	38	2116	2614	3688	2601	3647	1,00	1,01	0,2 / 0,5
	ZPT4	37	1238	2450	3489	2444	3477	1,00	1,00	0,85 / 1,25
	ZPT5	32	1244	2676	3441	2670	3404	1,00	1,01	1 / 1,2
	ZPT6	27	1270	2755	3575	2726	3567	1,01	1,00	1,0 / 1,25
	ZEB1	30	1490	2528		2515		1,01		0,6
	ZEB2	36	1070	1626		1622		1,00		0,45
	ZPB3	27	1219	2372		2407		0,99		0,85
	ZPB4	25	1590	2658		2683		0,99		0,6
	TU-T1	26	2157	2599	3053	2651	3093	0,98	0,99	0,2 / 0,3
	TU-T2	25	2398	2792	2810	2810	2745	0,99	1,02	0,15 / 0,1
Svinki (1996) Kaava 4.14	TU-T3	24	1770	2273	2470	2277	2410	1,00	1,02	0,25 / 0,25
	TU-B1	25	1662	2100		2138		0,98		0,25
	TU-B2	23	1265	1610		1627		0,99		0,25
	ZET1	30	1075	2619	2965	2589	2925	1,01	1,01	1,85 / 1,95
	ZET2	35	1882	2494	3386	2450	3414	1,02	0,99	1,0 / 1,3
	ZET3	38	2116	2614	3688	2617	3691	1,00	1,00	0,95 / 1,25
	ZPT4	37	1238	2450	3489	2498	3455	0,98	1,01	1,55 / 2,0
	ZPT5	32	1244	2676	3441	2672	3385	1,00	1,02	1,65 / 1,95
	ZPT6	27	1270	2755	3575	2728	3544	1,01	1,01	1,65 / 2,0
	ZEB1	30	1490	2528		2522		1,00		1,3
	ZEB2	36	1070	1626		1602		1,01		1,15
	ZPB3	27	1219	2372		2381		1,00		1,5
Alawneh et al. (2009) $\phi = 33^\circ$ Kaava 4.15	ZPB4	25	1590	2658		2691		0,99		1,3
	TU-T1	26	2157	2599	3053	2528	3085	1,03	0,99	0,9 / 1,025
	TU-T2	25	2398	2792	2810	2810	2844	0,99	0,99	0,9 / 0,85
	TU-T3	24	1770	2273	2470	2305	2532	0,99	0,98	1,0 / 1,025
	TU-B1	25	1662	2100		2056		1,02		0,95
	TU-B2	23	1265	1610		1647		0,98		1
	ZET1	30	1075	2619	2965	1695	1838	1,55	1,61	
	ZET2	35	1882	2494	3386	3149	3441	0,79	0,98	
	ZET3	38	2116	2614	3688	3663	4019	0,71	0,92	
	ZPT4	37	1238	2450	3489	2140	2334	1,14	1,49	
	ZPT5	32	1244	2676	3441	2028	2196	1,32	1,57	
	ZPT6	27	1270	2755	3575	1945	2090	1,42	1,71	
	ZEB1	30	1490	2528		2350		1,08		
	ZEB2	36	1070	1626		1811		0,90		
	ZPB3	27	1219	2372		1867		1,27		
	ZPB4	25	1590	2658		2373		1,12		
	TU-T1	26	2157	2599	3053	3208	3470	0,81	0,88	
	TU-T2	25	2398	2792	2810	3522	3858	0,79	0,73	
	TU-T3	24	1770	2273	2470	2566	2765	0,89	0,89	
	TU-B1	25	1662	2100		2441		0,86		
	TU-B2	23	1265	1610		1810		0,89		

Taulukossa 20 on käytetty mitattuina kestävyyksinä CAPWAP-analyysistä saatuja kestävyyskertoimia. Kaiken kaikkiaan Zatelliin ja Tuuliharjun koekohteiden paalut käyttäytyivät hyvin eri tavalla, joten kaavojen empiiriset kertoimet ovat vahvasti paikkakohtaisia. Myös saman koekohteen paaluilla empiiriset kertoimet poikkesivat toisistaan merkittävästi. Koepaalujen kohdalla havaittiin, että paalujen asennustiukkuus vaikuttaa selkeästi empiiriseen kertoimen suuruuteen sekä Skov & Denverin että Svinkin esittämällä kaavoilla. Skov & Denverin kaavassa asennuksessa matalampaan loppulyöntitiukkuuteen jätetyillä paaluilla empiirinen kerroin oli selkeästi suurempi ja tiukkaan asennetuilla, lähes tukipaalun tapaan toimivilla paaluilla empiirinen kerroin oli pieni. Empiirinen kerroin kertoo geoteknisen kestävyyskasvun suuruudesta suhteessa EOD mittaukseen, joka selkeillä kitkapaaluilla oli suurempi kuin tukipaalun tapaan toimivilla paaluilla.

la. Svinkin kaavassa empiirisen kertoimen suuruus oli samalla tavalla löysään jätetyillä paaluilla suuri ja tiukkaan asennetuilla pieni. Svinkin kaavassa suurempi empiirinen kerroin kertoo myös voimakkaammasta geoteknisen kestävyyskasvusta EOD mittauksen suhteen.

Koetuloksien perusteella Skov & Denverin kaavan empiiriselle kertoimelle A haettiin yleispätevää arvoa, jolla voidaan arvioida paalujen geoteknisen kestävyyskasvua. Tarkastelussa empiirisen kertoimen A ohjearvot määritettiin paalun loppulyöntipainuman perusteella. Loppulyöntipainuman perusteella voidaan arvioida melko luotettavasti kitkamaahan asennetun paalun geoteknisen kestävyyskasvua, kun loppulyönneissä käytetty energia on sama. Pienellä loppulyöntipainuman arvolla EOD geotekninen kestävyys on yleensä suuri ja geoteknisen kestävyyskasvu maltillisempaa, kun paalu kantaa suuren osan kuormastaan kärjen välityksellä heti asennuksen jälkeen. Kärkikestävyys ei juurikaan kasva ajan kuluessa. Suurilla loppulyöntipainuman arvoilla EOD geotekninen kestävyys on taas matala ja geoteknisen kestävyyskasvu voimakkaampaa, kun paalun vaippakestävyys kasvaa ajan kuluessa merkittävästi. Taulukossa 21 on esitetty empiirisen kertoimen A ohjeelliset arvot.

Taulukko 21. *Kaavassa 4.12 esiintyvän empiirisen kertoimen A ohjearvot paalun geoteknisen kestävyyskasvun arviointiin. Loppulyönneissä käytetty energia teräsputkipaaluilla 2 m ja teräsbetonipaaluilla 1 m. Paalupituus vaihtelee välillä 20–40 m ja paalut on asennettu kitkamaihin.*

s/10 [mm]	A
0–50	0,2
50–100	0,3
100–150	0,4
150–200	0,5
200–250	0,6
250–300	0,7

Taulukon 21 esitetyt ohjearvot on määritetty tämän tutkimuksen tuloksien perusteella ja ohjearvoja voidaan käyttää kitkamaihin (hiekkahan, silttiseen hiekkahan, hiekkaiseen silttiin) asennettujen paalujen geoteknisen kestävyyskasvun arvioinnissa. Arvioitavien paalujen pituuden tulisi vaihdella välillä 20–40 m, koska kertoimet on määritetty kyseiselle paalupituuden vaihteluvälille. Pidemmillä paaluilla A-kertoimet ovat oletettavasti suurempia ja lyhyemmillä pienempiä. Taulukon 21 loppulyönneissä on käytetty teräsputkipaaluilla 2 m energiaa ja teräsbetonipaaluilla 1 m energiaa. Kyseiset A-kertoimet soveltuvatkin käytettäväksi vain silloin, kun loppulyönnot on suoritettu vastaavilla energioilla. Taulukossa 22 on esitetty koepaalujen geotekninen kestävyys laskettuna empiirisen kertoimen ohjearvoilla.

Taulukko 22. Koepaalujen geotekninen kestävyys arvioituna empiirisen kertoimen A ohjearvoilla Skov & Denverin kaavalla.

	Paalu	L [m]	s/10 [mm]	Mitattu [kN]			Laskettu [kN]		Mitattu/Laskettu		Empiirinen kerroin A 14 vrk / 28 vrk
				Q_o	$Q_{t \approx 14 \text{ vrk}}$	$Q_{t \approx 28 \text{ vrk}}$	$Q_{t \approx 14 \text{ vrk}}$	$Q_{t \approx 28 \text{ vrk}}$	$\approx 14 \text{ vrk}$	$\approx 28 \text{ vrk}$	
Skov & Denver (1998) Kerroyin A Kaava 4.12	ZET1	30	151	1075	2619	2965	1691	1853	1,55	1,60	0,5
	ZET2	35	123	1882	2494	3386	2745	2699	0,91	1,25	0,4
	ZET3	38	30	2116	2614	3688	2601	2728	1,00	1,35	0,2
	ZPT4	37	184	1238	2450	3489	1947	2134	1,26	1,64	0,5
	ZPT5	32	268	1244	2676	3441	2242	2504	1,19	1,37	0,7
	ZPT6	27	254	1270	2755	3575	2289	2557	1,20	1,40	0,7
	ZEB1	30	175	1490	2528		2344		1,08		0,5
	ZEB2	36	139	1070	1626		1561		1,04		0,4
	ZPB3	27	210	1219	2372		2057		1,15		0,6
	ZPB4	25	147	1590	2658		2319		1,15		0,4
	TU-T1	26	70	2157	2599	3053	2899	3093	0,90	0,99	0,3
	TU-T2	25	35	2398	2792	2810	2948	3092	0,95	0,91	0,2
	TU-T3	24	26	1770	2273	2470	2176	2282	1,04	1,08	0,2
	TU-B1	25	30	1662	2100		2043		1,03		0,2
	TU-B2	23		1265	1610		1555		1,04		0,2

Empiirisen kertoimen A ohjearvot määritettiin 28 vuorokauden mittaustuloksien perusteella, koska 14 vuorokauden kohdalla läheskään kaikista paaluista ei pystytty mobilisoimaan paalun geoteknistä kestävyttä. A-kertoimen ohjearvojen perusteella lasketut geotekniset kestävyysarvot koepaaluille on varmalla puolella, lukuun ottamatta paaluja TU-T1 ja TU-T2. Paalulla TU-T1 mitatun ja lasketun geoteknisen kestävyysarvon vastaavuus on 0,99, eli alitus on hyvin maltillinen. Paalulla TU-T2 vastaavuus on 0,91, joka johtuu siitä, että paalua upotettiin 1 m vielä kahden viikon kohdalla, jolloin 28 vuorokauden mittaustulos edustaa ennemmin 14 vuorokauden mittaustulosta. Kahden viikon kohdalla A-kertoimen ohjearvoilla lasketut geotekniset kestävyysarvot ovat varmalla puolella niillä paaluilla, joilla pystyttiin mobilisoimaan kokonaan tai lähes kokonaan paalun geotekninen kestävyys.

7.7 Kitkapaaluvaihtoehdon kustannussäästöt

Aikatekijän huomioimisella voidaan säästää merkittävästi paaluperustuksen kustannuksissa. Huomioimalla aikatekijä: saavutetaan sama tavoiteltu geotekninen kestävyys lyhyemmällä paalupituuksilla, voidaan vaihtoehtoisesti pienentää paalujen jakotiheyttä, voidaan käyttää poikkileikkaukseltaan pienempiä paaluja, paalujen lyömisessä voidaan käyttää matalamman lyöntienergian tuottavia paalutuskoneita. Myös paalujen lyöntityö vähenee, kun paalujen määrä vähenee tai paaluja ei tarvitse upottaa niin syvälle. Usein myös paalujatkoksien määrä vähenee samoista syistä.

Laskentaesimerkissä verrataan tukipaalu- ja kitkapaaluvaihtoehdon kustannuksia. Esimerkissä lasketaan Zateeliitin alikulkusillan paalutuskustannukset sekä tukipaaluin että kitkapaaluina toteutettuna. Kitkapaaluvaihtoehdossa oletetaan, että tarvittava geotekninen kestävyys saavutetaan 28 vuorokauden seisonta-ajan jälkeen. Alikulkusillan perustuksiin tulee yhteensä 12 kappaletta halkaisijaltaan 813 mm teräspalkkipaaluja, jokaiselle neljälle tuelle kolme kappaletta. Laskentaesimerkissä kitkapaalujen oletetaan saavuttava riittävä geotekninen kestävyys tasolla -27 ja tukipaalujen tasolla -40.

Paalujen metrihinta on suunnilleen sama, vaikka lyöntivastus kasvaa tukipaaluvaihtoehdossa selkeästi, kun paalua upotetaan syvemmälle. Kitkapaaluvaihtoehdossa lisäkustannuksia syntyy, kun paalutuskalusto joudutaan mobilisoimaan työmaalle yhden ylimääräisen kerran, koska kitkapaaluille tarvitsee tehdä koekuormitukset 28 vuorokauden kuluttua. Kitkapaalujen mitoitusarvoa määritettäessä korrelaatiokertoimet kerrotaan vielä mallikertoimella 1,05, jolloin tukipaalujen mitoitusarvot ovat hieman suurempia, vaikka dynaamisten koekuormitusten perusteella mitatut arvot olisivat samat. Kitkapaalukohteissa on kuitenkin erittäin suositeltavaa käyttää signaalinmallinnusta, jolloin korrelaatiokertoimet voidaan kertoa 0,9, joka johtaa mallikertoimeen 0,945. Selkeissä tukipaalukohteissa signaalinmallinnusta ei useinkaan ole tarpeen tehdä. Kuvassa 7.14 on esitetty laskuesimerkki Zatelliitin alikulkusillan paalutuskustannuksista kitka- ja tukipaaluille.

Kitkapaalut				Tukipaalut			
	Paalut	Tavoitetaso	Pituus [m]		Paalut	Tavoitetaso	Pituus [m]
T1	3 kpl	-27	32	T1	3 kpl	-40	45
T2	3 kpl	-27	32	T2	3 kpl	-40	45
T3	3 kpl	-27	32	T3	3 kpl	-40	45
T4	3 kpl	-27	32	T4	3 kpl	-40	45
Yht.	12 kpl		128	Yht .	12 kpl		180

Teräsputkipaalu D813 t16,0 mm Metrihinta 600 €/m

Erotus paalupituuksissa = 52 m

Kitkapaaluilla säästöä = 52 m * 600 €/m = 31 200 €

Kuva 7.14. Laskuesimerkki säästöistä Zatelliitin alikulkusiltapaikalla.

Yksinkertaistetun laskentaesimerkin mukaan kitkapaaluvaihtoehdolla säästetään paalutuskustannuksissa 31 200 € pelkästään yhdellä siltapaikalla. Koepaalutuksesta aiheutuneet kustannukset maksavat itsensä takaisin, kun samankaltaisissa pohjaolosuhteissa on useampia siltapaikkoja tai suuri määrä paaluja.

Kitkapaaluilla geoteknisen kestävyyskasvu on siis kustannusmielessä tärkeä tekijä, joka täytyy huomioida. Merkittäväntä kasvu on ensimmäisen kahden viikon aikana, mutta kasvua tapahtuu huomattavasti vielä 14 vuorokauden jälkeenkin. Kirjallisuustutkimuksen perusteella paalujen geotekninen kestävyys kasvaa vielä 28 vuorokauden jälkeenkin, mutta kasvu hiipuu ajan kuluessa, eivätkä 28 vuorokautta pidemmät odotusajat ole useinkaan mahdollisia missään kohteessa.

8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän tutkimuksen sekä kirjallisuuslähteiden mukaan kitkapaalun geoteknisen kestävyiden kasvuun vaikuttaa maaperäominaisuudet, paalujen asennusmenetelmä ja -järjestys, paalun ominaisuudet ja kuormitushistoria. Kasvuun vaikuttavia maaperäominaisuuksia ovat: maalaji, maarakeiden ominaisuudet, maaperän tiiviys, maaperässä vallitsevat jännitykset, pohjaveden taso ja huokosveden paine. Paalun ominaisuuksista geoteknisen kestävyiden kasvuun vaikuttaa paalupituus ja -materiaali, paalun poikkileikkaus ja paalun vaipan karkeus. Kuormitushistoriassa lähinnä aikaisempien kuormitusten kesto ja suuruus vaikuttavat paalun geoteknisen kestävyiden kasvuun.

Tutkimuksen perusteella paalujen geotekninen kestävyys kasvaa merkittävästi ajan kuluessa. Huokosvesipaineen tasoittumisen jälkeen paalujen geotekninen kestävyys kasvoi vaihteluvälillä noin 17–180 %. Tuuliharjussa kasvu oli selkeästi maltillisempaa kuin Zatelliitissa. Zatelliitissa geoteknisen kestävyiden kasvussa oli reilusti enemmän hajontaa kuin Tuuliharjussa. Zatelliitissa hajonta oli suurempi, koska osa paalusta oli selkeitä kitkapaaluja ja osa tukipaaluja.

Tutkimuksen perusteella kitkamaassa (hiekkä, siltti) paalun geotekninen kestävyys kasvaa eniten ensimmäisen kahden viikon aikana, mutta geoteknisessä kestävyudessa tapahtuu selkeää kasvua ainakin vielä kuukauden ajan paalun asennuksesta. Kirjallisuustutkimuksen perusteella kasvua on osoitettu tapahtuvan kitkamaissa myös vielä kuukauden jälkeenkin, jopa vuoden ajan (Axelsson & Baker 2007). Koheesiomaissa lujouden kasvu voi kestää vielä pidempäänkin, monia vuosia (Karlsrud 2012). Tutkimuksessa havaittiin, että selkeillä kitkapaaluilla kokonaismurtokestävyiden absoluuttinen kasvu on voimakkaampaa kuin tukipaaluilla, kun verrataan upotusvaiheen ja viimeisen mittausvaiheen tuloksia keskenään.

Samalla rakennuspaikalla sijaitsevilla paaluilla voi olla merkittäviä eroja geoteknisen kestävyiden kasvussa. Paalujen geoteknisen kestävyiden kasvamisen todentaminen ja hyödyntäminen vaatii aina koekuormituksia ja isommissa kohteissa täyden hyödyn irtisaaminen vaatii koepaalutusta. Tutkimuksessa esitellyt aikatekijän laskentakaavat eivät osoittautuneet kovin varmoiksi ja luotettaviksi, joka johtuu osittain koepaalutuksen luonteesta. Koepaalutuksessa paalut upotettiin eri syvyyksille, kohteissa pohjaolosuhteet vaihtelivat voimakkaasti, koepaaluina käytettiin sekä teräsputkipaaluja että teräsbetonipaaluja ja paaluista ei pystytty aina ulosmittaamaan täydellistä murtokuormaa.

Paalujen geoteknisen kestävyiden kasvun huomioimisella on merkittävä vaikutus hankkeiden paalutuskustannuksiin. Hankkeen aikataulun salliessa paalujen tulisi antaa seistä

maassa vähintään kaksi viikkoa ennen paalujen koekuormitusta. Yleisohjeena voidaan pitää, että mitä hienorakeisempaa maata, sitä pidemmän seisonta-ajan paalut tarvitsevat. Paalujen kasvaneiden geoteknisten kestävyyksien ansiosta paalupituuksia voidaan lyhentää, paalujen määrää vähentää ja käyttää pienempiä paaluja. Lyöntityön vähentyessä paalutus pystytään toteuttamaan nopeammin ja lisäksi joissakin tapauksissa voidaan käyttää kevyempää lyöntikalustoa.

Geoteknisen kestävyyskasvu on voimakkaampaa kitkapaaluilla, koska heti lyönnin jälkeen niiden geotekninen kestävyys on usein hyvinkin alhainen. Myös tukipaaluilla vaippakestävyys kasvoi samalla tavalla kuin kitkapaaluilla. Tukipaaluilla kasvaneen vaippakestävyys hyödyntäminen ja ulosmittaaminen voi kuitenkin olla vaikeampaa, jos paalu tukeutuu kärjeltään kallioon tai tiiviiseen moreeniin.

Suomessa käytetään kitkapaaluja vähän ja päällimmäisenä syynä on Suomen geologia, jossa kantava pohja on saavutettavissa melko maltillisilla paalupituuksilla. Yhtenä syynä on myös kitkapaalujen käyttökokemuksen puute. Tukipaaluja pidetään varmana vaihtoehtona, eikä olla kiinnostuneita säästämään paalumetrejä ja samalla paalutuksesta aiheutuneita kustannuksia. Pienissä ja keskisuurissa kohteissa kitkapaalujen käyttö aiheuttaa lisäkustannuksia tukipaaluvaihtoehtoon verrattuna kaluston ylimääräisestä mobilisaatiosta, kun kitkapaalut koekuormitetaan odotusajan jälkeen. Tukipaaluilla vastaavaa mobilisaatiota ei tule, kun paaluille voidaan tehdä dynaamiset koekuormitukset asennuksen jälkeen ilman pidempiä odotusajoja. Kitkapaalujen käyttö ei välttämättä lisää pohjatutkimuksien määrää, kunhan valitaan oikeat pohjatutkimusmenetelmät alun perin. Sopivissa kohteissa kitkapaalut ovat todella kilpailukykyinen vaihtoehto tukipaaluille. Varsinkin silloin, kun kova pohja on syvällä ja paalujen voidaan antaa seistä maassa vähintään kaksi viikkoa ennen koekuormituksia. Kitkapaalujen hyödyt kasvavat, kun paalujen määrä on suuri ja kohteessa tehdään koepaalutus.

Suomessa on käytössä useita pohjatutkimustuloksiin perustuvia paalun geoteknisen kestävyysmitoitusmenetelmiä. Koekohteilla menetelmät antoivat hyvin vaihtelevia tuloksia, eikä selkeää vastaavuutta mitattujen ja laskettujen arvojen välille saatu. Vain muutamille paaluille pystyttiin laskemaan geotekninen kestävyys pohjatutkimustulosten perusteella, joten menetelmien käyttökelpoisuudesta ei voida vetää tarkempia johtopäätöksiä näiden tuloksien perusteella. Huomattavaa on kuitenkin, että menetelmien antamien tuloksien hajonta oli suurta. Staattisen kantavuuskaavan kriittisen syvyyden sääntö halkaisijaltaan alle 400 mm paaluille voi johtaa tutkimuksen perusteella selkeästi epävarmalla puolella olevaan tulokseen. Kriittisen syvyyden sääntö voitaisiin muokata siten, että myös halkaisijaltaan alle 400 mm paaluilla vallitsevat jännitykset rajataan, jollakin kriittisen syvyyden arvolla. Suomessa yleisesti hyväksyttyjen kokemuseräisten ja analyyttisten laskentamenetelmien käyttöä ei ole ohjeistettu selkeästi, jolloin menetelmillä saadut tulokset vaihtelevat suuresti ja saadut tulokset riippuvat selkeästi menetelmän käyttäjästä.

Kaikkien pohjatutkimustuloksiin perustuvien mitoitusten menetelmien ja aikatekijän teoreettisten laskentakaavojen arviointia varten olisi pitänyt määrittää tarvittavia maaparametreja koepaalujen upotussyvyydeltä. Lisäksi olisi tarvittu enemmän pohjatutkimuspisteitä koepaalujen läheisyydestä, jolloin olisi pystytty laskemaan useamman paalun geotekninen kestävyys samalla menetelmällä ja vertaamaan useampaa laskettua arvoa toteutuneeseen mittausarvoon. Yhden arvon perusteella ei voida vetää johtopäätöksiä menetelmän toimivuudesta.

Pohjatutkimusmenetelmistä esille nousi heijarikairauksen ja puristin-heijarikairauksen väliset erot, niin geoteknisen kestävyyslaskennassa kuin myös paalujen tavoitetaso arvioinnissa. Puristin-heijarikairausvastus on merkittävästi pienempi kuin heijarikairausvastus, koska puristin-heijarikairauksessa kairatankoja pyöritetään kairattaessa, jonka seurauksena kairatangon ja maan välinen kitka on pienempi. Koekohteilla puristin-heijarikairaus antoi selkeästi alhaisempia geoteknisen kestävyysarvoja kuin heijarikairaus. Paalujen tavoitetasot oli arvioitu puristin-heijarikairauksien perusteella ja todellisuudessa tiiviimmät kerrokset tulivat aikaisemmin vastaan kuin puristin-heijarikairauksien tulokset antoivat ymmärtää.

Staattisen kantavuuskaavan tarpeellisuus nousi myös tutkimuksen yhteydessä esille. Puhtaasti empiirinen kairausvastukseen perustuva menetelmä olisi järkevämpi vaihtoehto tilanteissa, joissa staattisessa kantavuuskaavassa tarvittava maan leikkauskestävyyskulma arvioidaan epäsuorasti kairausvastuksen perusteella. Staattinen kantavuuskaava on tavallaan tarpeeton menetelmä, koska geotekninen kestävyys voidaan laskea suoraan kairausvastuksesta. Tällöin pystyttäisiin eliminoimaan yksi epävarmuustekijä ja välivaihe laskennasta pois.

Tärkein huomio eurokoodin käytöstä pohjatutkimustuloksien perusteella tehtävässä mitoituksessa on mallipaalumenetelmän korrelaatiokertoimien suuruus verrattuna vaihtoehtoisen menetelmän mallikertoimien arvoihin. Vaihtoehtoisen menetelmän mallikerroin on kitkapaaluille minimissään 1,60, joka on pieni verrattuna taulukon 5 korrelaatiokertoimiin. Korrelaatiokertoimien valinta pohjatutkimusprofiilien määrän perusteella on kuitenkin perusteltua, koska epävarmuus laskee tutkimuksien määrän lisääntyessä.

Koepaalutuksesta saatiin tarvittavat tiedot, joiden takia koepaalutus alun perin tehtiinkin, mutta koepaalutuksen toteutuksessa ja suunnittelussa olisi ollut hieman parannettavaa, jotta täysi hyöty olisi saatu irti. Koepaalujen olisi pitänyt olla lyhyempiä, jolloin paalut olisi pystytty kuormittamaan murtoon jokaisessa mittausvaiheessa kevyemmälläkin lyöntilaitteistolla. Lyöntilaitteiston tuottaman lyöntienergian kasvattaminen ei auttanut tässä tapauksessa, koska teräsbetonipaaluilla ja osalla teräsputkipaaluja saavutettiin rakenteellinen kestävyys ennen geoteknistä kestävyyttä.

Koekohteilta saatujen mittaustuloksien avulla ei pystytty määrittämään, onko teräsbetonipaalun ja teräsputkipaalun vaippakestävyys kasvussa eroja, koska teräsbetonipa-

luja ei pystytty kuormittamaan murtoon viimeisillä mittauskerroilla. Kirjallisuustutkimuksessa ilmeni, että teräsbetonipaalun karkeamman vaippapinnan ansiosta myös vaippakestävyyden pitäisi kasvaa paremmin.

Kitkapaalujen koepaalutukseen voidaan antaa seuraavat yleisohjeet:

- Koekuormitusta varten on hankittava pudotusjärkele, jolla pystytään kuormittamaan koepaalut murtoon asti. Lisäksi pudotusjärkele on parempi vaihtoehto kuin hydraulijärkele, koska pudotusjärkeleellä pystytään määrittämään haluttu pudotuskorkeus tarkasti.
- Tarvittava järkäle/lyöntienergia, jolla paalut saadaan kuormitettua murtoon, voidaan suunnitteluvaiheessa määrittää WEAP-analyysin avulla.
- Koepaalutuksessa kannattaa käyttää selkeästi eripituisia paaluja, jolloin tarvittava upotussyvyys on helpompi määrittää. Lisäksi pituudet on suunniteltava sillä tavalla, että paalut pystytään kuormittamaan murtoon.
- Suositeltava seisonta-aika koepaaluille on vähintään 14 vuorokautta, mutta mahdollisuuksien mukaan enemmän. Hienorakeisimmissa maissa seisonta-aika on pidempi ja karkearakeisissa maissa hieman lyhyempi.
- Koepaalujen välinen etäisyys on oltava riittävä, jotta viereisen paalun asennus ja kuormitus eivät häiritse toisen paalun vaippavastuksen kasvua. Koepaalujen välisen etäisyyden tulisi olla minimissään 10 D, mutta vähintään 5 m.
- Heti paalun asennuksen jälkeen ei kannata tehdä dynaamisia koekuormituksia, koska geotekninen kestävyys on usein hyvin alhainen tässä vaiheessa, eikä tuloksesta voida varmuudella päätellä paljoakaan. Mittaukset suositellaan tehtäväksi aikaisintaan vuorokauden kuluttua paalun asennuksesta, jos halutaan alustavia tuloksia.
- Skov & Denverin kaavaan (4.12) empiirisen kertoimen A arvoksi on annettu suositukset taulukossa 21, jos paalun geoteknistä kestävyyttä täytyy arvioida ennen kahden viikon odotusaikaa tehtyjen mittaustuloksien perusteella. Taulukon 21 arvot soveltuvat 20–40 m pitkille paaluille, jotka on asennettu kitkamaihin, käyttäen loppulyönneissä 2 tm energiaa teräspuutkipaaluilla ja 1 tm energiaa teräsbetonipaaluilla.
- Alustavat laskelmat kitkapaalun geoteknisestä kestävyyydestä suositellaan tehtäväksi heijarikairausvastukseen perustuvalla menetelmällä. Heijarikairauksien perusteella on hyvä määrittää myös koepaalujen tavoitetasot.

Yleisesti ohjeena dynaamisten koekuormitusten tekemiseen:

- Dynaamisessa koekuormituksessa on suositeltavaa käyttää neljää venymäanturia, jolloin voidaan varmistua koekuormitusiskun keskeisyydestä ja signaalin hyvästä laadusta. Hyvälaatuiselle mittaussignaalille signaalinmallinnuskin onnistuu hyvin.

- Staattisten koekuormitusten käyttö tarpeen mukaan dynaamisten koekuormitusten ohella. Tällöin voidaan olla entistä varmempia saaduista tuloksista ja verrata menetelmiä keskenään.
- Vaimennuskertoimen arvona suositellaan kitkapaaluille 0,6 ja tukipaaluille 0,5. Signaalinmallinnuksella saadaan tarkempi arvio vaimennuskertoimesta.

Tutkimuksen yhteydessä ilmeni useita jatkotutkimustarpeita:

- Paalun halkaisijan merkitys geoteknisen kestävyyskasvuun,
- Paalun geoteknisen kestävyysmäärittäminen pohjatutkimustuloksien perusteella,
- Aikatekijän laskentakaavat,
- Staattisten ja dynaamisten koekuormitusten yhteneväisyys,
- Dynaamisessa koekuormituksessa syntyneen painuman merkitys tuloksen oikeellisuuteen.

LÄHTEET

- Alawneh, A. S., Nusier, O. K. & Awamleh, M. S. (2009). Time dependent capacity increase for driven pile in cohesionless soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*. Vol. 3(1), s. 1–31.
- Alheid, P. (2015). Geokonstruktör. HERCULES Grundläggning AB, Göteborg. [Sähköpostikeskustelut 10.12.2014 ja 16.2.2015]
- ASTM D 4945 - 12. (2013). Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles. ASTM International. 9 s.
- Axelsson, G. (2000). Long-term set-up of driven piles in sand. Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology. Stockholm. 194 s.
- Axelsson, G. & Baker, S. (2007). Slagna friktionspålar. Pålkommisionen Rapport 103. Linköping. 103 s.
- Baldi, G., Belotti, R., Ghionna, V. N., Jamiolkowski, M. & Lo Presti, D. L. F. (1989). Modulus of sands from CPT's and DMT's. *Proc. 12th Int. Conf. Soil Mech and Found. Eng.* Vol. 1, s. 165-170.
- Berezanzen, V. G. (1965). Design of deep foundations. *Proceedings of 6th International Conference, ISSMFE*. Toronto. Vol 2. s. 234–237.
- Boulon, M. & Foray, P. (1986). Physical and numerical simulation of lateral shaft friction along offshore piles in sand. *3rd International Conference on Numerical Methods in Offshore Piling*. Nantes, France. s. 127–147.
- Bowman, E. T. & Soga, K. (2003). Creep, ageing and microstructural change in dense granular materials. *Soils and Foundations*. Vol. 43(4), s. 107–117.
- Bowman, E. T. & Soga, K. (2005). Mechanisms of setup of displacement piles in sand: laboratory creep test. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 42(5), s. 1391–1407.
- Breilin, O. & Putkinen, N. (2012). Limingan Vesikari – syvin maaperäkairaus Suomessa. *Geologi* 64. s. 100–103.
- Bustamante, M. & Gianselli, L. (1982). Pile bearing capacity by means of static penetrometer CPT. *Proceedings of the European Symposium on Penetration Testing*. Amsterdam. Vol. 2, s. 493-500.

Chow, F. C., Jardine, R. J., Nauroy, J. F. & Brucy, F. (1997). Time related increase in the shaft capacities of driven piles in sand, *Géotechnique*, Vol. 47(2), s. 353–361.

Chow, F. C., Jardine, R. J., Nauroy, J. F. & Brucy, F. (1998). Effects of time on capacity of pipe piles in dense marine sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. Vol. 124(3), s. 254–264.

Chow, F. C., Jardine, R. J., Brucy, F. & Nauroy, J. F. (1996). The effect of time on the capacity of pipe piles in sand. *Proceeding 28th Offshore Technology Conference*. Houston.

Craig, R. F. (2001). *Soil Mechanics*, 6th ed., E & FN Spon, London, 485 s.

Daramola, O. (1980). Effect of consolidation age on stiffness of sand. *Géotechnique*. Vol. 30(2), s. 213–216.

De Nicola, A. & Randolph, M. F. (1994). Tensile and compressive shaft capacity of piles in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. Vol. 119(12), s. 1952–1973.

Den Norske Pelekomité. (2012). *Peleveiledningen 2012*. Norsk Geoteknisk Forening. 315 s.

Ekström, J. (1989). A field study of model pile group behavior in non-cohesive soils. *Doctoral Thesis*, Chalmers University of Technology. Göteborg. 270 s.

Eslami, A. & Fellenius, B. H. (1997). Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 34(6), s. 886–904.

Fellenius, B. H., Riker, R. E., O'Brian, A. J. & Tracy, G. R. (1989). Dynamic and static testing in soils exhibiting set-up. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. Vol. 115(7), s. 984–1001.

Goble, G. (2008). The use of dynamic methods in pile installation and design. *Stress Wave, The 8th International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles*. Lisbon. IOS Press. s. 3–6.

Google Maps, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.5.2015):
<https://www.google.fi/maps>

Hannigan, P. J., Goble, G. G., Thendean, G., Likins, G. E. & Rausche, F. (1998). *Design and Construction of Driven Pile Foundations*. FHWA-HI-97-013. Vol. I, II. 828 s.

Heinonen, J. (1998). Suurpaalujen geotekninen kantavuus. Lisensiaatintutkimus. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 99 s.

Holopainen, V. & Lämsivaara, T. (2006). Eurocode 7 vertailulaskelmat, taustaselvitys eurocode 7-1 (EN 1997-1) kansallisen liitteen laadintaa varten, anturaperustukset ja paalut. Tutkimusraportti 060210V. Tampereen teknillinen yliopisto, Maa- ja pohjarakenteiden laitos. 49 s.

Iskander, M. (2010). Behavior of Pipe Piles in Sand. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Brooklyn, USA. 267 s.

Jardine, R. J., Standing, J. R. & Chow, F. C. (2006). Some observations of the effects of time on the capacity of piles driven in sand. *Géotechnique*. Vol. 56(4), s. 227–244.

Jardine, R. J., Chow, F. C., Overy, R. F. & Standing, J. R. (2005). ICP Design Methods for Driven Piles in Sands and Clays. Thomas Telford Publishing. Glasgow. 102 s.

Jardine, R. J., Overy, R. F. & Chow, F. C. (1998). Axial capacity of offshore piles in dense North Sea sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. Vol. 124(2), s. 171–178.

Jardine, R. J., Everton, S. J. & Lehane, B. M. (1992). Friction coefficient for piles in cohesionless materials. *Proceedings SUT International Conference on Offshore Site Investigations and Foundation Behavior*. Kluwer. s. 661–680.

Kalla, J. (1960). Limingan Tupoksen savikivikairaus ja suoritettavat jatkotutkimukset. Oulun osakeyhtiö, Betoni- ja geoteknillinen toimisto. 5 s.

Karlsrud, K. (2012). Prediction of load-displacement behavior and capacity of axially loaded piles in clay based on analyses and interpretation of pile load test results. Doctoral Thesis. Norwegian University of Science and Technology. 312 s.

Kraft, L. (1991). Performance of axial loaded pipe piles in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. Vol. 117(2), s. 272–296.

Lee, J. H. & Salgado, R. (1999). Determination of pile base resistance in sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE. Vol. 125(8), s. 673–683.

Lehane, B. M., Jardine, R. J., Bond, A. J. & Frank, R. (1993). Mechanisms of shaft friction in sand from instrumented pile tests. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. Vol. 119(1), s. 19–35.

Liikenneviraston ohjeita 35/2013. (2013). Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Liikennevirasto. Helsinki. 73 s.

Liikenneviraston ohjeita 6/2011. (2011). Siirtymä- ja huokospainemittausten sekä paalujen koekuormituksen menetelmäkuvaukset. Liikennevirasto. Helsinki. 24 s.

Likins, G. E., Rausche, F. (2008). What Constitutes a Good PDA Test?. Proceedings of the Eight International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles. Lisbon. s. 403–407.

Likins, G. E., Rausche, F. (2004). Correlation of CAPWAP with Static Load Test. Proceedings of the Seventh International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles. Malaysia. s. 153–165.

Maapeitepaksuus. GTK Hakku paikkatietotuotteet, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 16.5.2015): <http://hakku.gtk.fi/fi/locations/search#>

Meyerhof, G. G. (1956). Compaction of Sand and Bearing Capacity of piles. Journal of soil mechanics and foundation engineering. ASCE. Vol. 85(6), s. 1-29.

Meyerhof, G. G. (1976). Scale effects of ultimate pile capacity. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. Vol. 109(6), s.797–806.

McDowell, G. R. & Bolton, M. D. (1998). On the micromechanics of crushable aggregates. Géotechnique. Vol. 48(5), s. 667-679.

Mesri, G., Feng, T. W. & Benak, J. M. (1990). Post-densification penetration resistance of clean sands. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. Vol. 116(7), s. 1095–1115.

Mitchell, J. K. & Solymar, Z. V. (1984). Time-dependent strength gain in freshly deposited or densified sand. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. Vol. 110(11), s. 1159–1175.

Ng, W. K., Selamat, M. R. & Choong, K. K. (2010). Soil/Pile set-up on driven pile in Malaysian soil. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 14(A). 12 s.

Olsson, C. & Holm, G. (1993). Pålgrundläggning. AB Svensk Byggtjänst och Statens geotekniska institute. 377 s.

Orsetti, V. & Rosa, B. (2012). Eurocode 7 dynamic pile testing: philosophy and application. Stress Wave, The 9th International Conference on the Application of

Stress Wave Theory to Piles. Kanazawa. Kanazawa e-Publishing Co., Ltd. s. 697-702.

Pile Dynamics, Inc. (2000). PDA-W Users Manual.

Pile Dynamics, Inc. (2000). CAPWAP Manual.

Poulos, H. G. & Davies, E. H. (1980). Pile foundation analysis and design. John Wiley & Sons. Singapore. 397 s.

Prakash, S. & Davis, E. H. (1989). Pile Foundation Analysis and Design. John Wiley & Sons. New York. 734 s.

Rajapakse, R. (2008). Pile Design and Construction Rules of Thumb. Elsevier/ Butterworth-Heinemann. Amsterdam. 444 s.

Rakennusteollisuus RT. (2011). Tuotelehti PO-2011 mukaiseen paalutustyöhön. Rakennusteollisuus RT ja Betonteollisuus ry. 23 s.

Rankka, K. (1991). Friktionspålars bärförmåga och last/förskjutningssamband – En jämförelse mellan olika beräkningsmetoder och statisk och dynamisk provbelastning. Pålkommissionen Rapport 86. Linköping. 147 s.

Rantala, K. & Halkola, H. (1997). Paalun kantavuuden arviointi puristin-heijarikairalla. Geotekninen osasto julkaisu 74. Helsingin kaupunki, Kiinteistövirasto. 87 s.

Riihimäki, T. (2005). Pienpaalujen asentaminen kevyillä lyöntilaitteilla. Tampereen teknillinen yliopisto, Rakennustekniikan osasto, Pohja- ja maarakenteiden laboratorio. Tutkimusraportti 60. 152 s.

RIL 254-2011. 2011. Paalutusohje (2011). Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 261 s.

RIL 212-2001. 2001. Suurpaalutusohje (2001). Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 150 s.

Samson, L. & Authier, J. (1986). Change in pile capacity in time: case histories. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 23(2), s. 174–180.

Schmertmann, J. H. (1991). The mechanical ageing of soils. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. Vol. 117(9), s. 1288–1330.

Schmertmann, J. H. (1987). Discussion on “Time-dependent strength gain in freshly deposited or densified sand” by Mitchell, J. K. & Solymar, Z. V. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE. Vol. 113(2), s. 173 - 175.

- Schmertmann, J. H. (1978). Guidelines for cone penetration test, Performance and Design. U. S. Department of Transportation. FHWA-TS-78-209. 145 s.
- SFS-EN 1997-1 NA 2010. (2010). Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Kansallinen liite. Liikenne- ja viestintäministeriö. 13 s.
- SFS-EN 1997-1 NA 2007. (2007). Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt. Kansallinen liite. Helsinki, Ympäristöministeriö. 10 s.
- SFS-EN 1997-2. (2007). Eurocode 7. Geotechnical design. Part 2: Ground investigation and testing. European Committee for Standardization. 196 s.
- SFS-EN 1990:2002/A1 NA 2010. (2010). Rakenteiden suunnitteluperusteet. Muutos A1: Liite A2: Soveltaminen siltoihin. Kansallinen liite. Liikenne- ja viestintäministeriö. 12 s.
- Skov, R. & Denver, H. (1988). Time-dependence of bearing capacity of piles. The 3th International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles. Ottawa. s.879–888.
- Slunga, E. (2010). Eurokoodi 7:n taustaa. Eurokoodikoulutus/Eurokoodi 7. 9 s.
- Svinkin, M.R. (2012). Engineering evaluation of static pile capacity by dynamic methods. Stress Wave, The 9th International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles. Kanazawa. Kanazawa e-Publishing Co., Ltd. s. 179-186.
- Svinkin, M. R. (1996). Setup and relaxation in glacial sand – discussion. Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 122(4), s. 319–321.
- Tabucanon, J. T., Airey, D. W. & Poulos H.G. (1995). Pile skin friction in sands from constant normal stiffness tests. Geotechnical Testing Journal. Vol. 18(3), s. 350-364.
- Tavenas, F. and Audy, R. (1972). Limitation of the driving formulas for predicting the bearing capacities of piles in sand. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 9(1), s. 47–62.
- Thomann, T. G. & Hryciw, R. D. (1992), Stiffness and strength changes in cohesionless soils due to disturbance. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 29(5), s. 853-861.
- Tomlinson, M. J. (1996). Recent advances in driven pile design. Ground Engineering 29(10), s. 31-33.

Tomlinson, M. J. (1987). *Pile Design and Construction Practice*. 3th edition. E&FN SPON. 378 s.

Uesugi, M., Kishida, H. & Tsubakihara, Y. (1988). Behavior of sand particles in sand steel friction. *Soils & Foundations*. Vol. 28(1), s. 107-118.

Vesic, A. S. (1967). A study of bearing capacity of deep foundations. Final Report. Project B-189. School of Civil Engineering. Georgia Institute of Technology. Atlanta.

Vesic, A. S. (1965). Ultimate loads and settlements of deep foundations in sand. *Proceedings of a symposium Bearing capacity and settlement of foundation*. Duke University. s. 53–83.

Vesic, A. S. (1964). Model testing of deep foundations in sand and scaling laws. *North American Conference on Deep Foundations, Mexico*. Vol. II. s. 525–533.

Wei, L. (2004). Numerical simulation and field verification of inclined piezo-cone penetration test in cohesive soils. A dissertation, Louisiana State University. s. 155.

White, D. J. & Bolton, M. D. (2004). Displacement and strain paths during plane-strain model pile installation in sand. *Géotechnique*. Vol. 56(6), s. 375-397.

Whitty, S. (2005). Pile Cushion: A Make or Break Proposition. *Piledriver*, Winter 04/05, s. 14-16.


Whitty, S. & Engler, H. (2004). Does Size Really Matter? In *Hammer Cushions, Little Things Count!*. *Piledriver*, Summer 2004, s. 18-19.

Yang, L. & Liang, R. (2009). Incorporating setup into load and resistance factor design of driven piles in sand. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 46, s. 296–305.

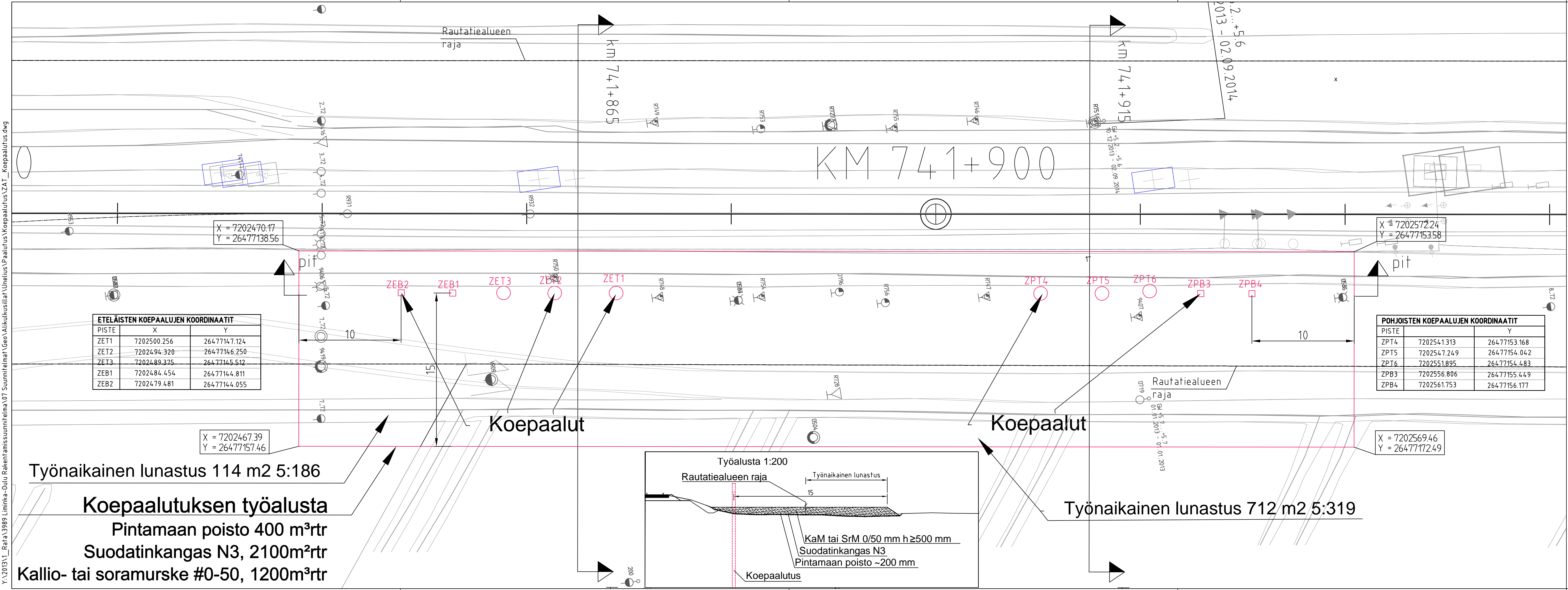
York, D. L., Walter, G. B., Clemente, F. M. & Law, S. K. (1994). Set-up and relaxation in glacial sand. *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE. Vol. 120(9), s. 1498–1513.

Åstedt, B., Weiner, L. & Holm, G. (1994). Friktionspålar – bärformågens tillväxt med tiden. *Pålkommisionen Rapport 91*. Statens geotekniska institut. Linköping. 121 s.



			Mittakaava	
			Koordinaatti- ja korkeusjärj.	
Tark.	xx	xxxxxx	ETRS GK26	
Hyv.	xx	xxxxxx	Rafaoosan nro	
LV hyv.	xx		Paikka	Laji
			Numero	Muut. Lehti
			4034	GEO
				2

Y:\2013\1_Rata\3989_Liminka-Oulu Rakentamissuunnitelma\07 Suunnitelmat\Geo\Aluekuvat\Unelius\Paalutus\Koepaalutus\ZAT_Koepaalutus.dwg






Työnaikainen lunastus 114 m² 5:186

Koepaalutuksen työalusta
Pintamaan poisto 400 m³rtr
Suodatinkangas N3, 2100m²rtr
Kallio- tai soramurske #0-50, 1200m³rtr

Työnaikainen lunastus 712 m² 5:319

Vain koepaalutusta varten

Muut.	Selitys		Pvm	Tehnyt	Pvm	Hyv.
Tilaaja			Hanke tai rataosa			
			RATAHANKE SEINÄJOKI-OU LU			
Toimittaja			Suunnitteluvaihe			
			Rakentamissuunnitelma			
Piirt.			7.11.2014	Kat ja Punkari, A. Tuominen		
Suunn.			7.11.2014	Arttu Tuominen		
Tark.			7.11.2014	Seppo Hakala		
Hyv.			7.11.2014	Hannu Siira		
Tarkastaja			Suunnituksen sisältö			
			POHJATUTKIMUSKARTTA			
			Koepaalutus			
			ZATELLIITIN AKS			
			Rataosuus Liminka-Oulu			
Tark.			xx	xxxxx		
Hyv.			xx	xxxxx		
LV hyv.			xx			
			Mittakaava			
			1:200			
			Koordinaatti- ja korkeusjärj.			
			ETRS GK26/N2000			
			Rataosan nro			
			SK-OL			
			Paikka	Laji	Numero	Muut. Lehti
			Lehtiä			
			4034 GEO			
			- 1			



VR Track Oy
 Seppo Hakala / Antti Ikonen
 PL 42
 00232 Helsinki

Tilaus 14.1.2014

Unelius AKS R751, pisteen R571 rasialeikkauskokeet

Näytteet Tilaaja toimitutti Matkahuollon kautta pisteestä R571 ($x = 7202548.981$, $y = 26477137.360$) seitsemän näytettä muovipusseissa, jotka vastaanotettiin TTY:llä 14.1.2014. Näytteet olivat syvyyksiltä 32 - 33 m, 37 - 38 m, 42 - 43 m, 52 - 53 m, 62 - 63 m, 63 - 65 m ja 65 - 68,13 m. TTY:lle toimitettujen näytteiden edustavuus on tilaajan vastuulla. TTY:ssä näytteille tehtiin kokeet työnumerolla 7/2014 ja kokeiden tallentamisessa käytettiin tiedostotunnusta I7.

Näytteiden esikäsittely Ennen testausta näytteet säilytettiin jääkaapissa.

Testausmenetelmä Rasialeikkauskokeet tehtiin TTY:n rasialeikkauskoelaitteistolla, jossa koekappaleen sivumitat olivat 60 mm, noudattaen teknistä spesifikaatiota CEN ISO/TS 17892-10:fi. Koekappaleen korkeus oli kuitenkin suurempi kuin korkeuden suhde leveyteen sallisi. Myöskään rasian puoliskoja ei ole erotettu toisistaan nostamalla erilleen ennen leikkauksen alkamista.

Tulokset Rasialeikkauskokeet tehtiin näytteille pisteestä R571 syvyydeltä 37 - 38 m, 42 - 43 m, 52 - 53 m ja 62 - 63 m vaakasuuntaisen leikkauksenopeuden ollessa 0,015 mm/min. Ennen koekappaleiden rakentamista syvyydeltä 62 - 63 m tehdyistä näytteistä poistettiin yli 4 mm rakeet, joita oli käsiteltyssä osanäytteessä noin 19 %. Koekappaleet tiivistettiin näytteiden vallitsevassa vesipitoisuudessa käsin sullo-malla mahdollisimman tiiviiksi. Tiivistettäessä rasian koekappaleiden pohjalta erottautui hieman vettä. Koekappaleista ei ole määritetty huokoslukuja. Tuloksissa ei ole esitetty huokoslukuihin liittyviä graafisia kuvaajia eikä taulukoituja arvoja maksimileikkauksen nityksille.



Nuutti Vuorimies 040 720 3050

06-03-2014

Rasialeikkauskokeiden tulokset on esitetty liitteissä 1 - 4. Syvyyden 37 - 38 m näytteelle (liite 1) määritettiin suurimmilla leikkausjännityksillä lujuusparametreiksi kitkakulma $33,7^\circ$ ja koheesio 57,7 kPa, kun kuivatilavuuspaino oli noin $18,5 \text{ kN/m}^3$. Syvyyden 42 - 43 m näytteelle (liite 2) määritettiin suurimmilla leikkausjännityksillä lujuusparametreiksi kitkakulma $36,1^\circ$ ja koheesio 38,6 kPa, kun kuivatilavuuspaino oli noin $19,1 \text{ kN/m}^3$. Syvyyden 52 - 53 m näytteelle (liite 3) määritettiin suurimmilla leikkausjännityksillä lujuusparametreiksi kitkakulma $39,6^\circ$ ja koheesio 10,8 kPa, kun kuivatilavuuspaino oli 17,9 - 18,3 kN/m^3 . Syvyyden 62 - 63 m näytteelle, josta oli yli 4 mm rakeet poistettu, (liite 4) määritettiin suurimmilla leikkausjännityksillä lujuusparametreiksi kitkakulma $40,9^\circ$ ja koheesio 33,4 kPa, kun kuivatilavuuspaino oli noin 20,2 - 20,6 kN/m^3 .

Kokeet tehtiin 22.1. - 12.2.2014. Alustavat koetulokset lähetettiin sähköpostilla 2. ja 6. ja 12.2.2014. Tulokset pätevät ainoastaan testatuille näytteille. Testausselostuksen saa kopioida ainoastaan kokonaisuudessaan.

Projektipäällikkö

Nuutti Vuorimies

Laboratoriomestari

Niko Levo

JAKELU

Tilaaajat
 TTY

LIITTEET

Liite 1. Syvyyden 37 - 38 m rasialeikkauskokeen tulokset (6 sivua)
 Liite 2. Syvyyden 42 - 43 m rasialeikkauskokeen tulokset (5 sivua)
 Liite 3. Syvyyden 52 - 53 m rasialeikkauskokeen tulokset (5 sivua)
 Liite 4. Syvyyden 62 - 63 m rasialeikkauskokeen tulokset (5 sivua)

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

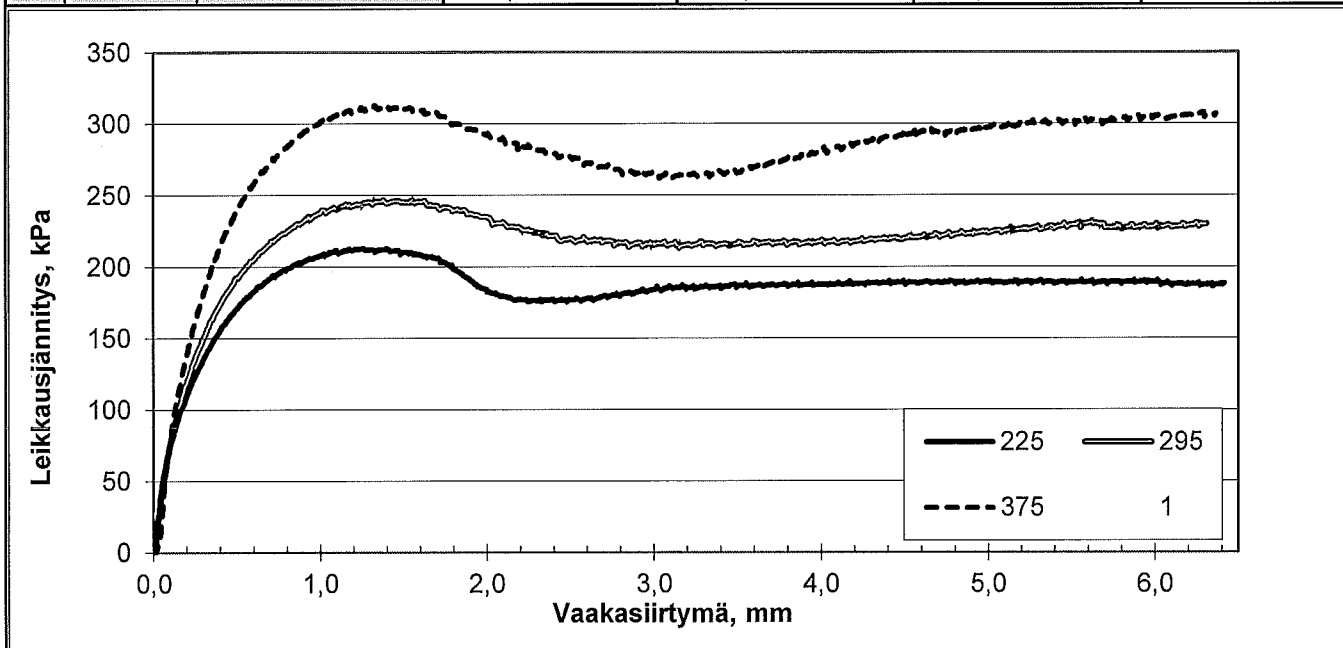
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Päivämäärä: 22.1.14

Tilaajan työnumero/projektinnumero:				
Piste, paalu:	R571			
Syvyys:	37 - 38 m			
Maalaji:	siHk/hiHk	siHk/hiHk	siHk/hiHk	siHk/hiHk
Tiedosto:	I7_R11	I7_R12	I7_R13	
Leikkausnopeus [mm/min]	0,015	0,015	0,015	
Normaalijännitys [kPa]	225	295	375	

Koenumero	1	w	2	w	3	w	4	w
Alkupaino ja vesipitoisuus [g]	230,4	16,5 %	228,0	18,0 %	228,9	18,0 %		
Paino kuivana [g]	197,81		193,25		194,87			
Näytteen korkeus [mm]	29,36		28,33		28,70			
Alkutilavuus [cm ³]	105,70		101,99		103,32			
Tilavuuspaino	21,4 kN/m ³		21,9 kN/m ³		21,7 kN/m ³		kN/m ³	
Kuivatilavuuspaino	18,4 kN/m ³		18,6 kN/m ³		18,5 kN/m ³		kN/m ³	
Alkukokoonpurist [mm]	0,04		0,16		0,15			
Kuivatilavuuspaino konsolid.	18,4 kN/m ³		18,7 kN/m ³		18,6 kN/m ³		kN/m ³	
Vesipitoisuus lopussa	18,7 %		19,0 %		19,2 %			



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

HUOM: Näytteet tiivistetty tiiviiksi. Tiivistyksessä pinnalle erottunut hieman vettä. Rasialeikkauslaatikko täytetty vedellä. Odotettu hetken aikaa ja konsolidoitu.

MITTASI:

TAMPERE

PAIKKA

PÄIVÄYS

Niko Levo

Laboratoriomestari

TARKASTI:

TAMPERE

PAIKKA

PÄIVÄYS

NUUTTI VUORIMIES

Projektipäällikkö, DI

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

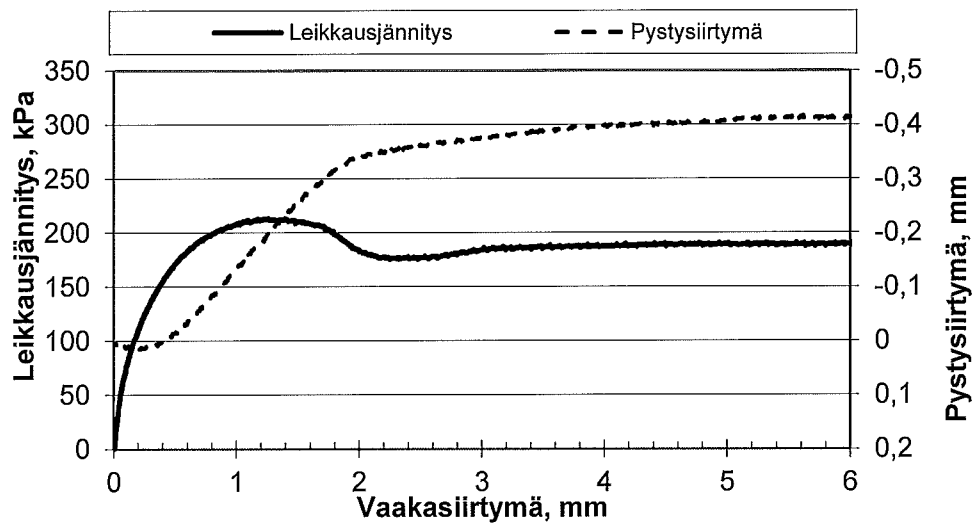
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

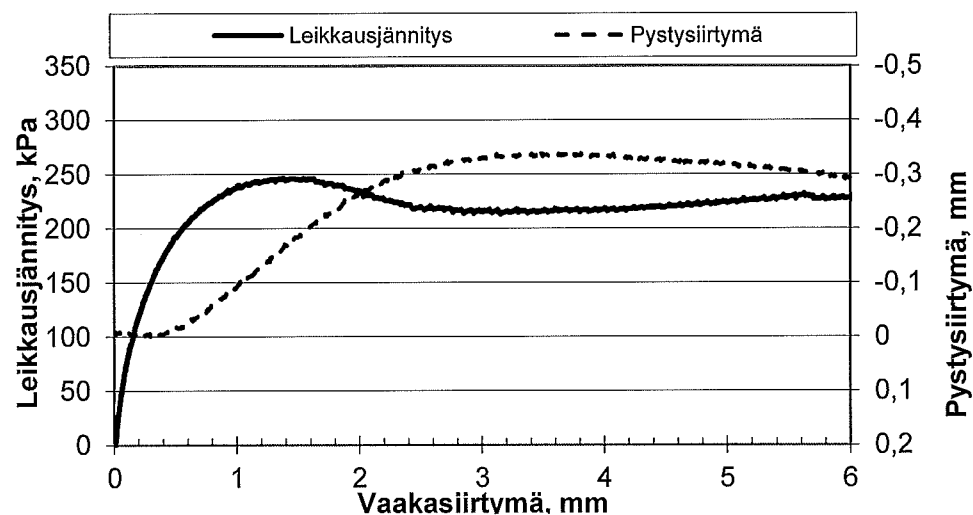
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

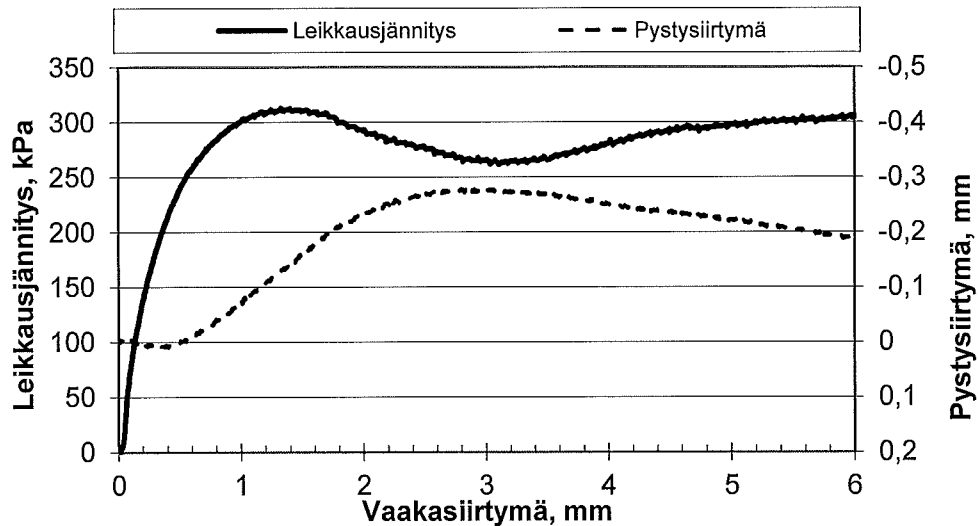
I7_R11



I7_R12



I7_R13



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

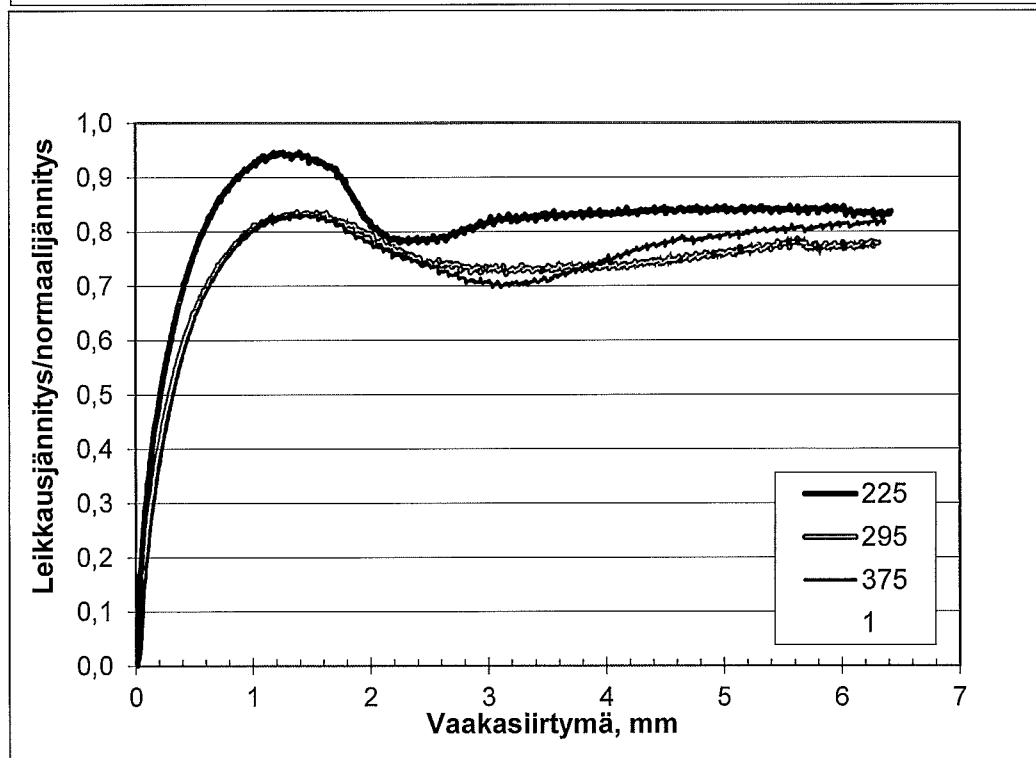
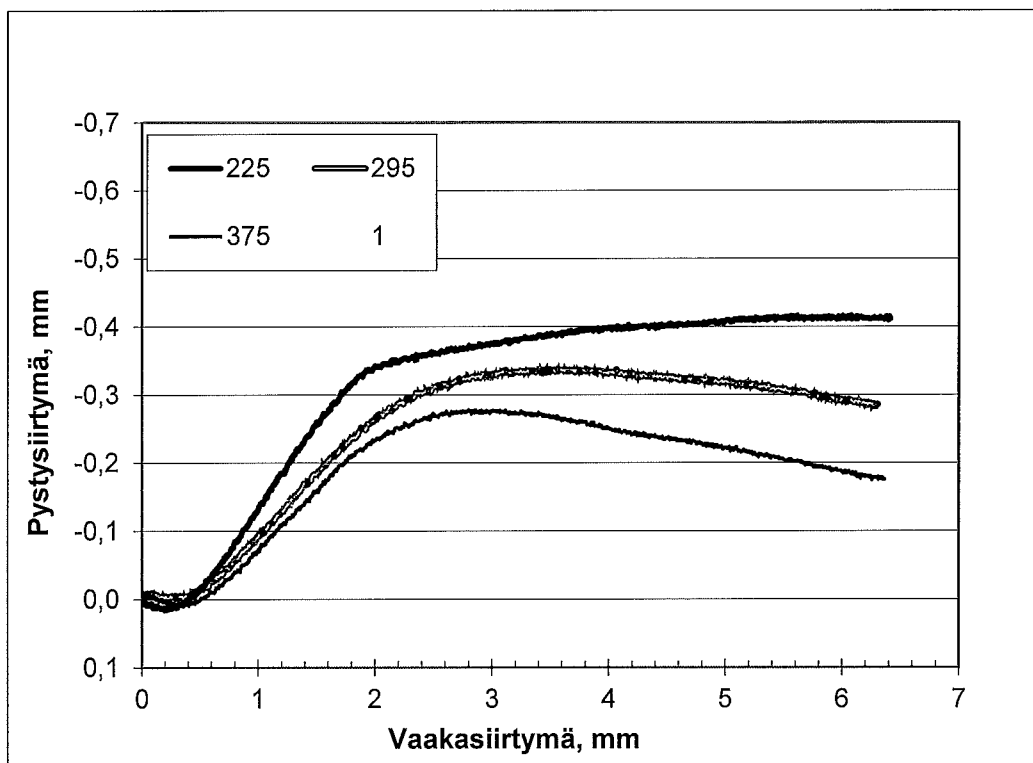
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

siHk/hiHk

piste: R571

syvyys: 37 - 38 m m



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R11

I7_R12

I7_R13

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

Maa- ja pohjarakenteet

PL 600 33101 TAMPERE

ASIAKAS

KOHDE

TYÖNUMERO

VR Track Oy

Unelius R571

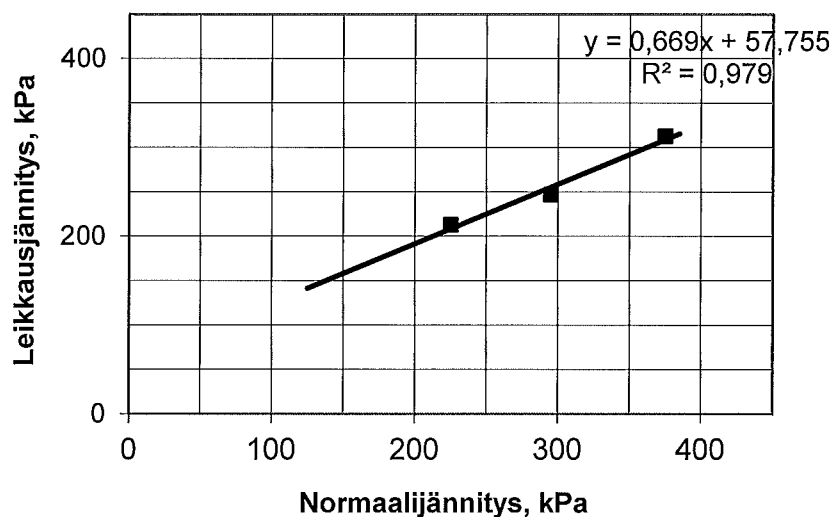
7/2014 (I7)

siHk/hiHk

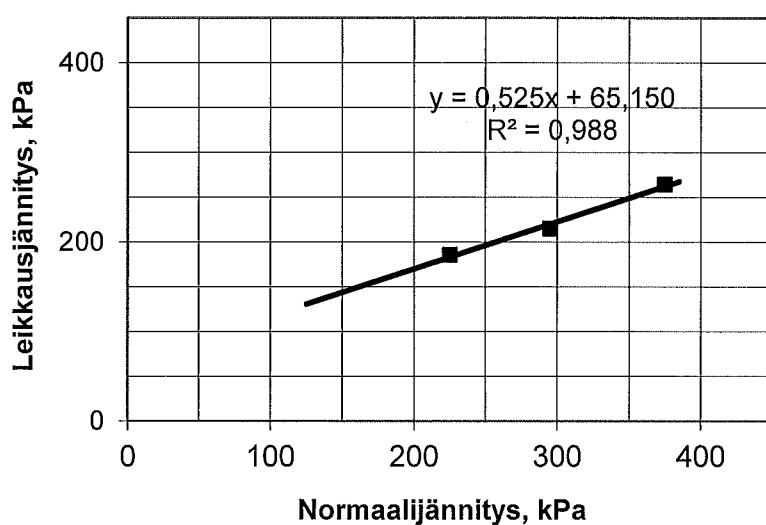
piste: R571

syvyys: 37 - 38 m

Suurimmalla leikkausjännityksillä
Kitkakulma $\phi = 33,7$ astetta ja koheesio $c = 57,7$ kPa



Leikkausmuodonmuutos 5,5 % (3.3 mm)
Kitkakulma $\phi = 27,7$ astetta ja koheesio $c = 65,1$ kPa



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R11

I7_R12

I7_R13

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteiden laitos

KOHDE

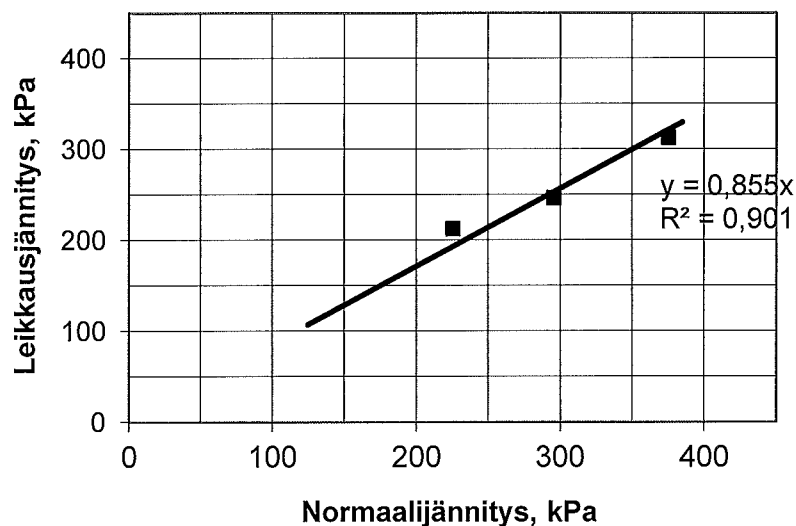
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

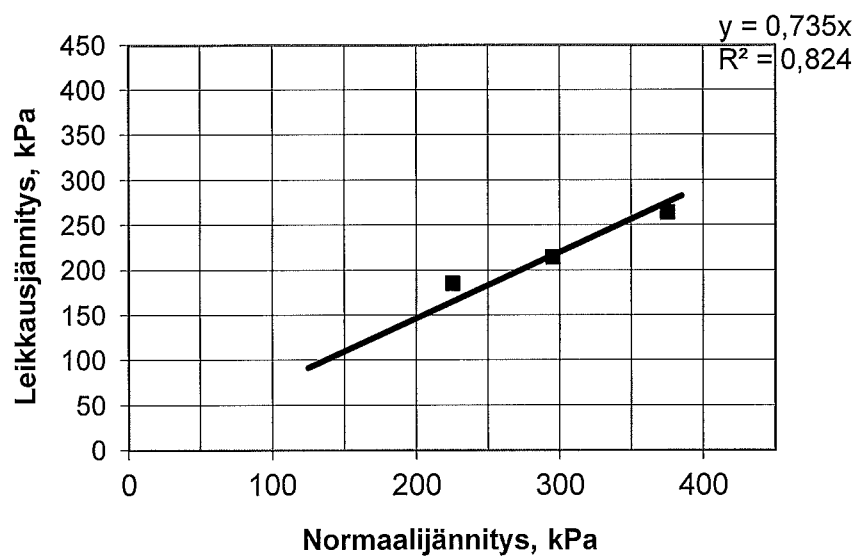
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Suurin leikkausjännitys, koheesio pakotettu nolaksi
Kitkakulma $\varphi = 40,5$ astetta



Jäännöskitkakulma 3,3 mm (5,5 %) siirtymällä, koheesio
pakotettu nolaksi:
Kitkakulma $\varphi = 36,3$ astetta



Tiedostot:

I7_R11

I7_R12

I7_R13

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

TYÖNUMERO

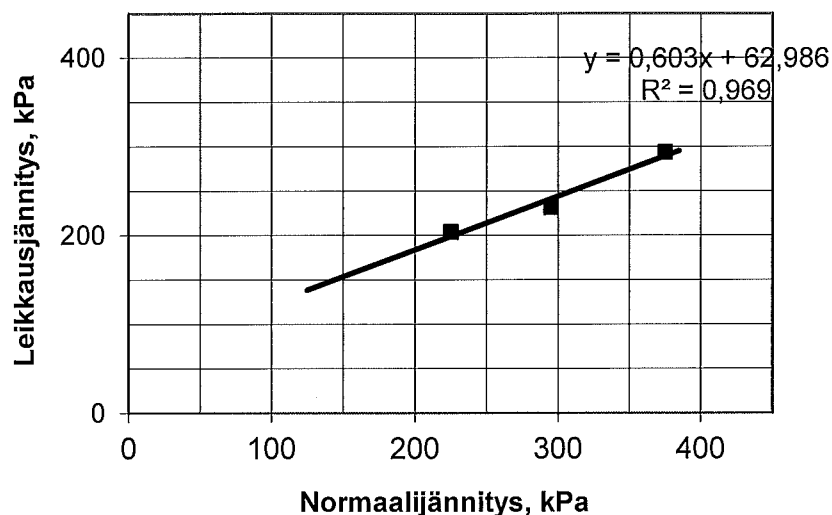
7/2014 (I7)

siHk/hiHk

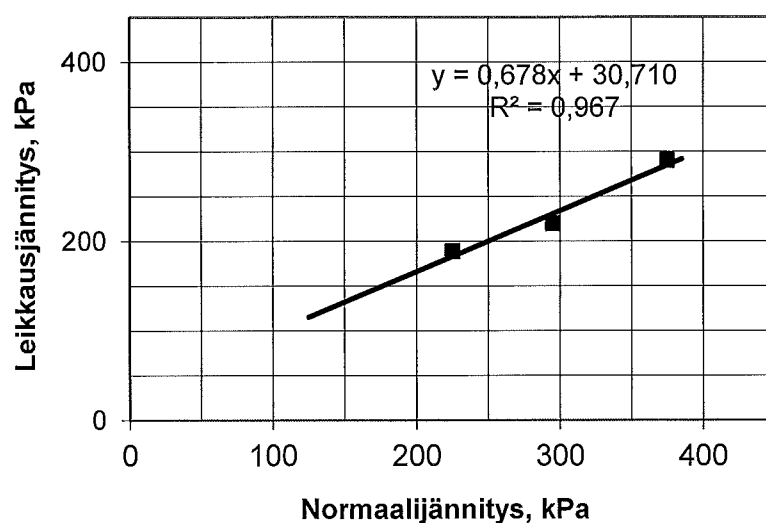
piste: R571

syvyys: 37 - 38 m

Leikkausmuodonmuutos 1,5 % (0.9 mm)
 Kitkakulma $\varphi = 31,0$ astetta ja koheesio $c = 62,9$ kPa



Leikkausmuodonmuutos 7,5 % (4.5 mm)
 Kitkakulma $\varphi = 34,1$ astetta ja koheesio $c = 30,7$ kPa



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R11

I7_R12

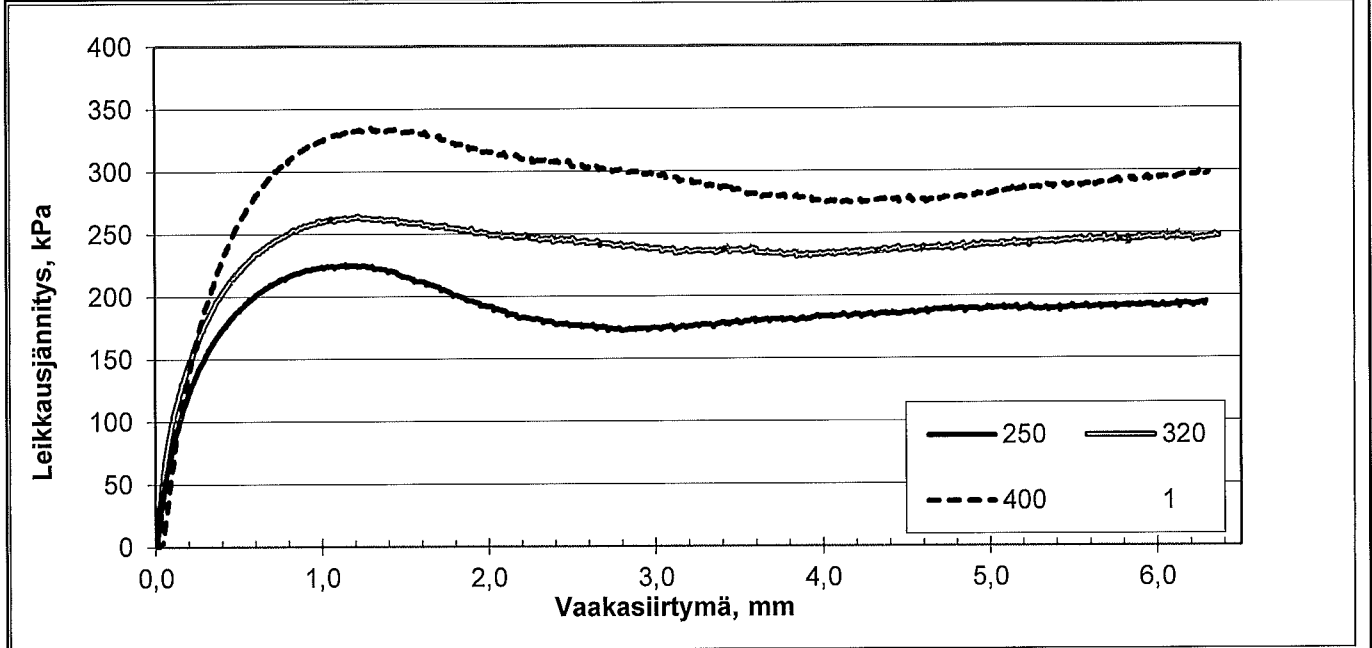
I7_R13

RASIALEIKKAUSKOE			
Tampereen teknillinen yliopisto		ASIAKAS	VR Track Oy
Maa- ja pohjarakenteet		KOHDE	Unelius R571
PL 600 33101 TAMPERE		TYÖNUMERO	7/2014 (I7)

Päivämäärä: 22.1.14

Tilaajan työnumero/projektinnumero:				
Piste, paalu:	R571			
Syvyys:	42-43			
Maalaji:	Hiekka	Hiekka	Hiekka	Hiekka
Tiedosto:	I7_R6	I7_R7	I7_R8	
Leikkausnopeus [mm/min]	0,015	0,015	0,015	
Normaalijännitys [kPa]	250	320	400	

Koenumero	1	w	2	w	3	w	4	w
Alkupaino ja vesipitoisuus [g]	229,8	15,7 %	229,0	15,6 %	228,8	15,6 %		
Paino kuivana [g]	198,68		198,03		196,83			
Näytteen korkeus [mm]	28,32		28,35		28,12			
Alkutilavuus [cm3]	101,95		102,06		101,23			
Tilavuuspaino	22,1 kN/m3		22,0 kN/m3		22,2 kN/m3			kN/m3
Kuivatilavuuspaino	19,1 kN/m3		19,0 kN/m3		19,1 kN/m3			kN/m3
Alkukokoonpurist [mm]	0,08		0,16		0,28			
Kuivatilavuuspaino konsolid.	19,2 kN/m3		19,1 kN/m3		19,3 kN/m3			kN/m3
Vesipitoisuus lopussa	17,1 %		17,5 %		17,4 %			



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

HUOM: Näytteet tiivistetty tiiviiksi. Tiivistyksessä pinnalle erottunut hieman vettä. Rasialeikkauslaatikko täytetty vedellä. Odotettu hetken aikaa ja konsolidoitu.

MITTASI:	TAMPERE	6.3.2014	
	PAIKKA	PÄIVÄYS	Niko Levo Laboratoriomestari
TARKASTI:	TAMPERE	6.3.2014	
	PAIKKA	PÄIVÄYS	NUUTTI VUORIMIES Projektipäällikkö, DI

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

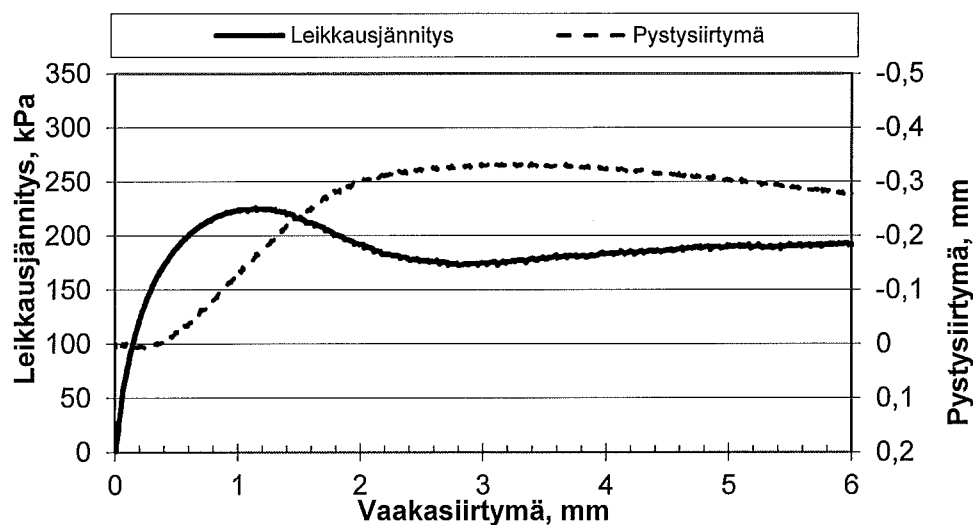
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

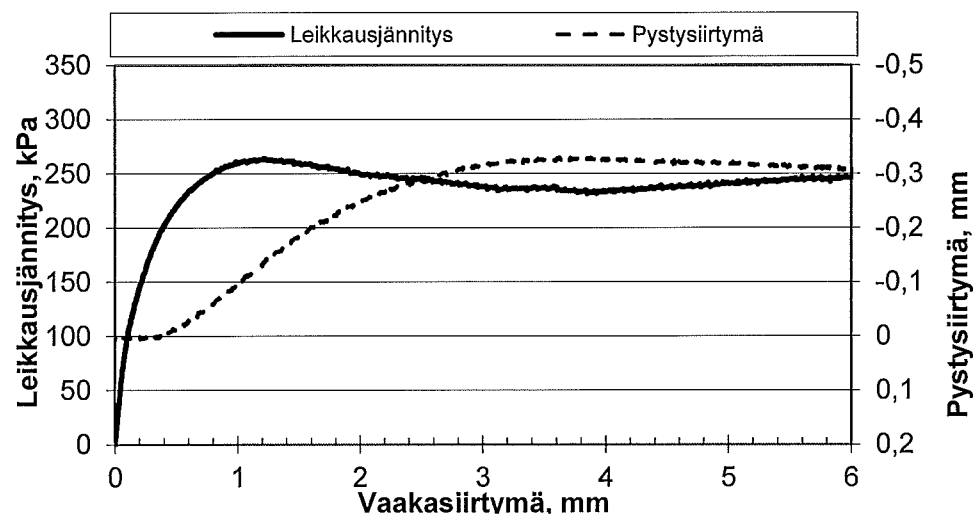
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

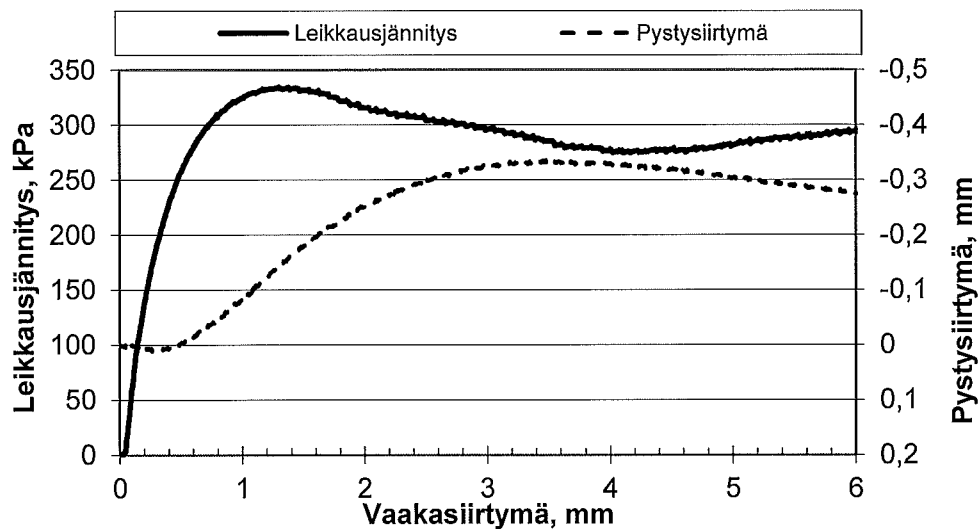
I7_R6



I7_R7



I7_R8



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

a

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

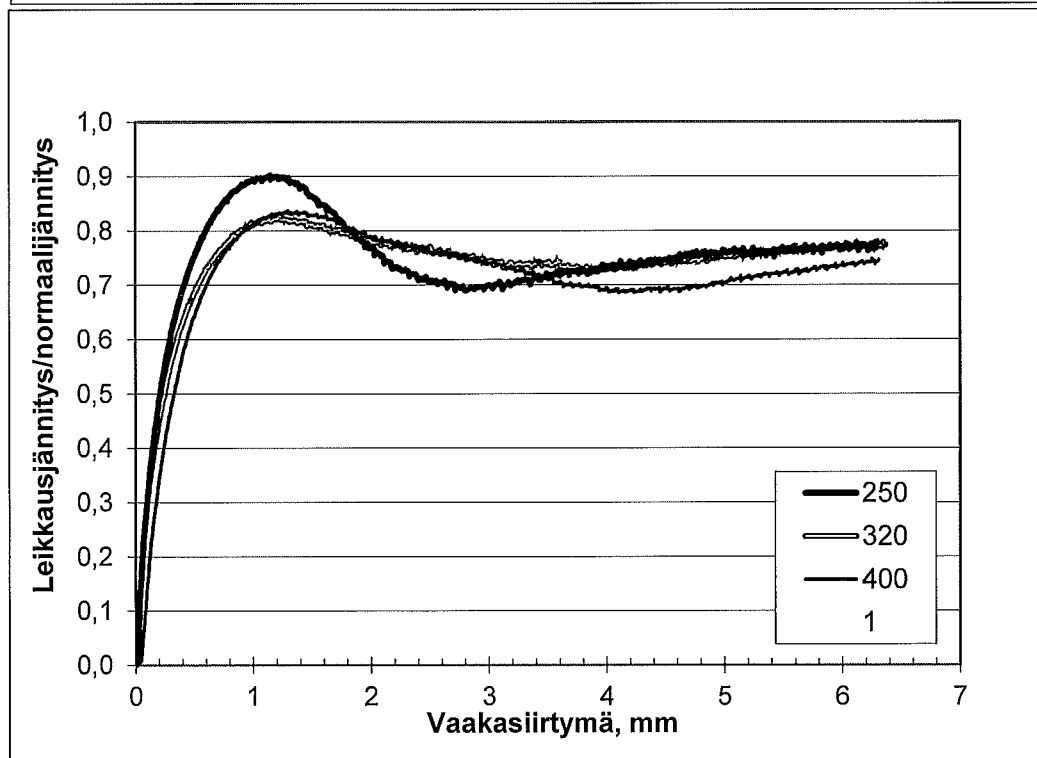
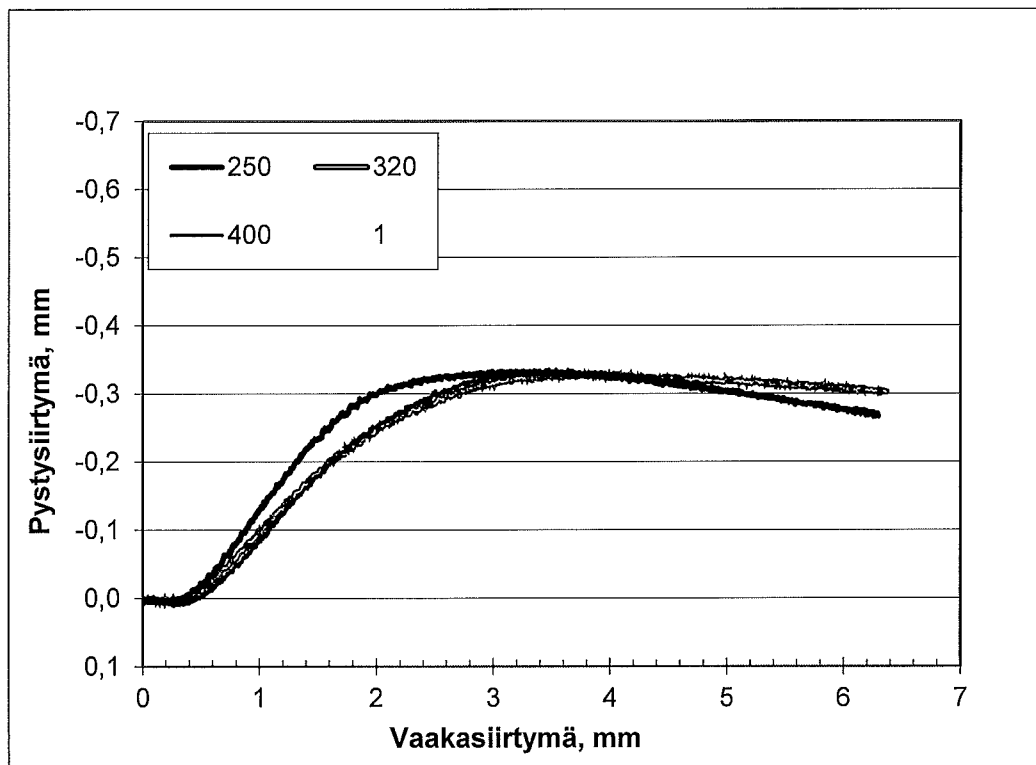
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Hiekka

piste: R571

syvyys: 42-43 m



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R6

I7_R7

I7_R8

w

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

TYÖNUMERO

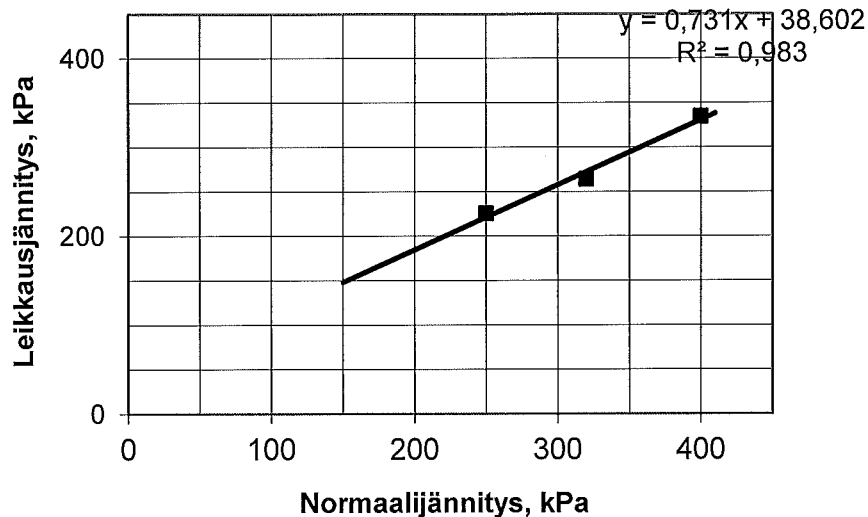
7/2014 (I7)

Hiekka

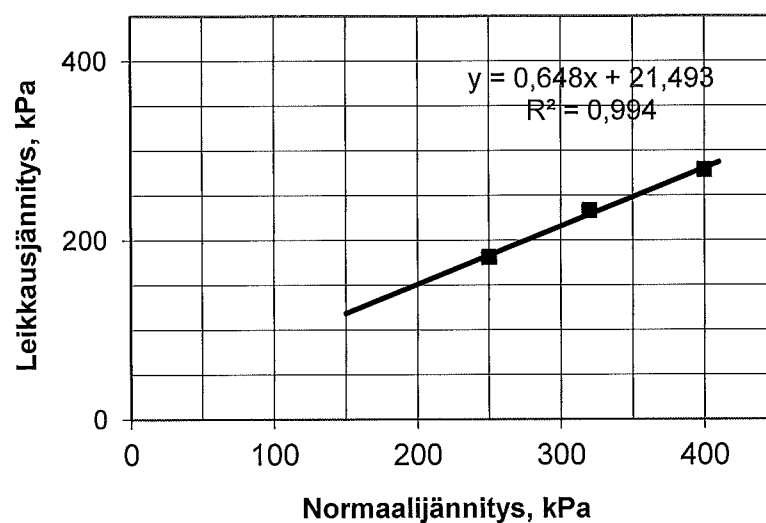
piste: R571

syvyys: 42-43

Suurimmalla leikkausjännityksillä
 Kitkakulma $\varphi = 36,1$ astetta ja koheesio $c = 38,6$ kPa



Leikkausmuodonmuutos 6,5 % (3.9 mm)
 Kitkakulma $\varphi = 32,9$ astetta ja koheesio $c = 21,4$ kPa



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R6

I7_R7

I7_R8

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteiden laitos

KOHDE

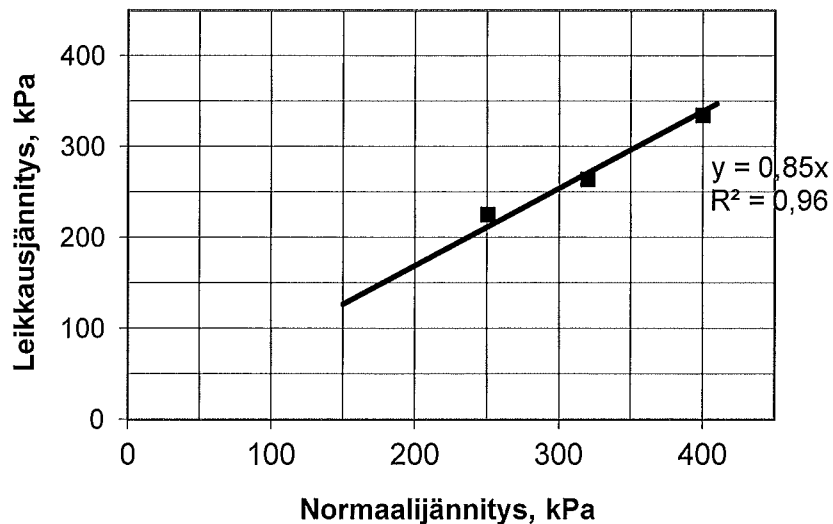
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

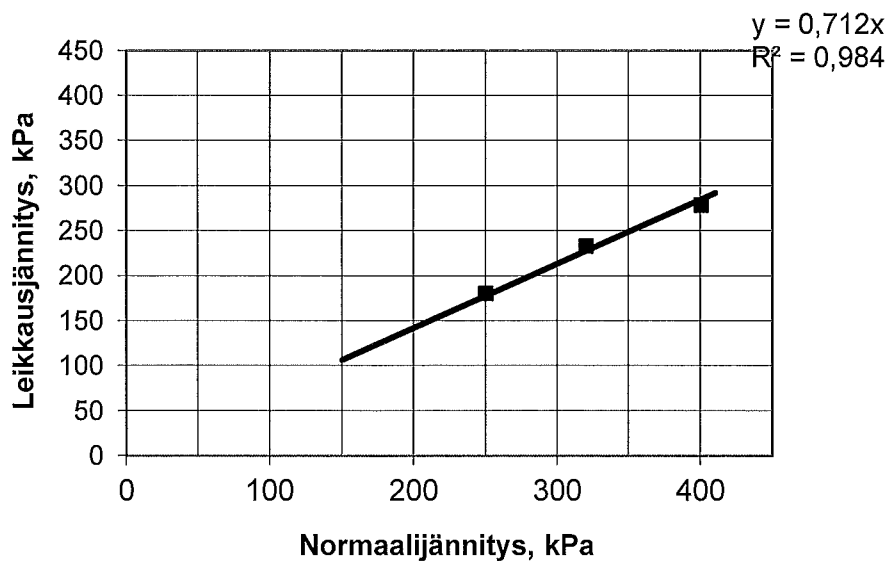
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Suurin leikkausjännitys, koheesio pakotettu nollassi
 Kitkakulma $\varphi = 40,2$ astetta



Jäännöskitkakulma 3,9 mm (6,5 %) siirtymällä, koheesio
 pakotettu nollassi:
 Kitkakulma $\varphi = 35,4$ astetta



Tiedostot:

I7_R6

I7_R7

I7_R8

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

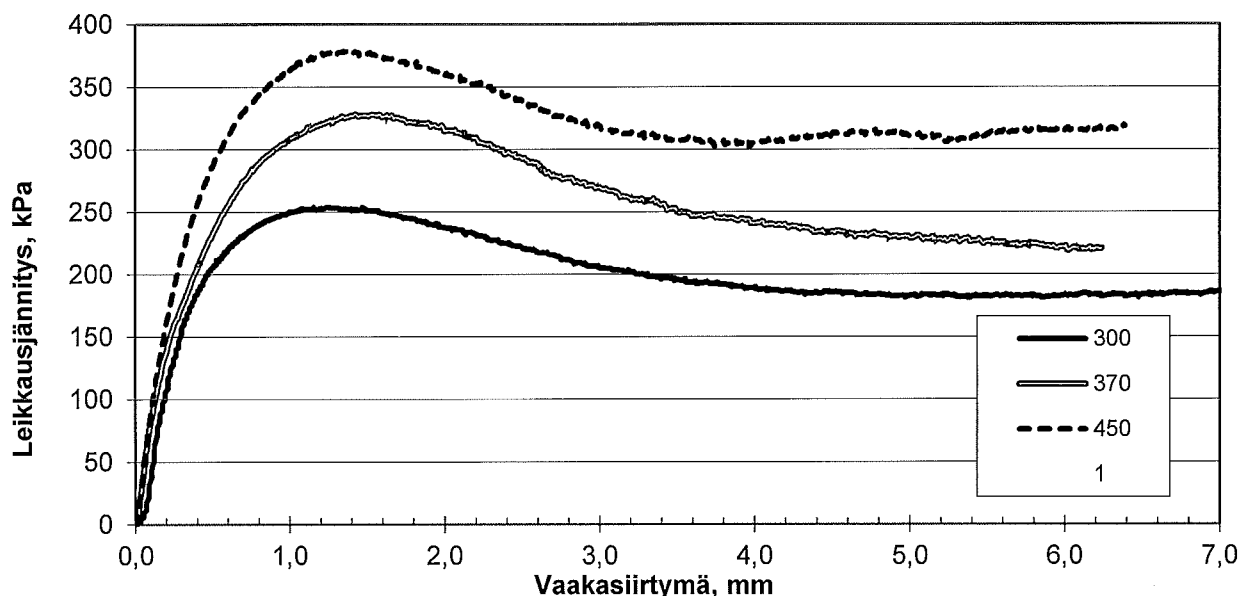
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Päivämäärä: 22.1.14

Tilaajan työnumero/projektinumero:				
Piste, paalu:	R571			
Syvyys:	52-53			
Maalaji:	Hiekka	Hiekka	Hiekka	Hiekka
Tiedosto:	I7_R1j	I7_R2	I7_R3	
Leikkausnopeus [mm/min]	0,015	0,015	0,015	
Normaalijännitys [kPa]	300	370	450	

Koenumero	1	w	2	w	3	w	4	w
Alkupaino ja vesipitoisuus [g]	233,1	16,4 %	230,8	16,3 %	227,8	16,3 %		
[g]								
Paino kuivana [g]	200,31		198,48		196,79			
Näytteen korkeus [mm]	30,57		30,05		29,34			
Alkutilavuus [cm ³]	110,05		108,18		105,62			
Tilavuuspaino	20,8 kN/m ³		20,9 kN/m ³		21,2 kN/m ³		kN/m ³	
Kuivatilavuuspaino	17,9 kN/m ³		18,0 kN/m ³		18,3 kN/m ³		kN/m ³	
Alkukoonpurist [mm]	0,55		0,29		0,39			
Kuivatilavuuspaino konsolid.	18,2 kN/m ³		18,2 kN/m ³		18,5 kN/m ³		kN/m ³	
Vesipitoisuus lopussa	18,3 %		18,4 %		18,2 %			



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

HUOM: Näytteet tiivistetty tiiviiksi. Tiivistyksessä pinnalle erottunut hieman vettä. Rasialeikkauslaatikko täytetty vedellä. Odotettu hetken aikaa ja konsolidoitu.

TUTKI:

TAMPERE

PAIKKA

PÄIVÄYS

Niko Levo

Laboratoriomestari

TARKASTI:

TAMPERE

PAIKKA

PÄIVÄYS

NUUTTI VUORIMIES

Projektipäällikkö, DI

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

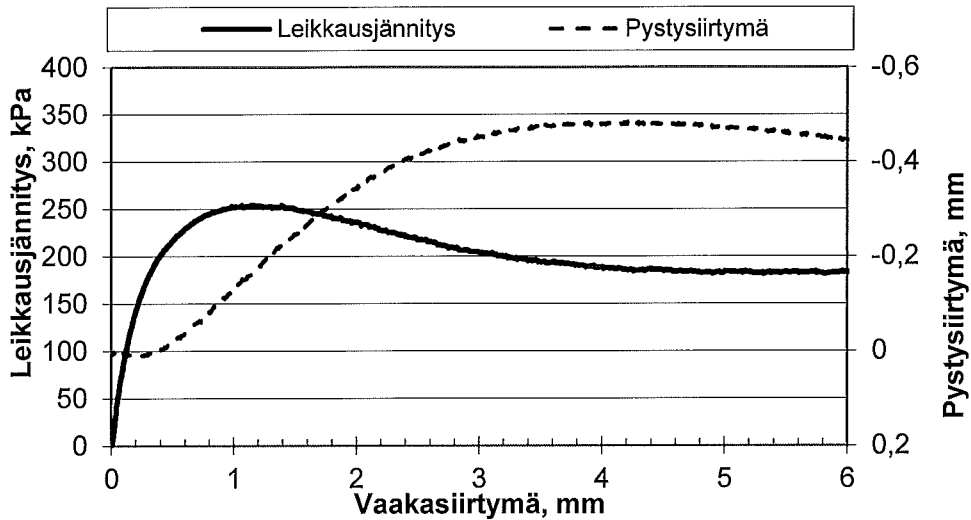
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

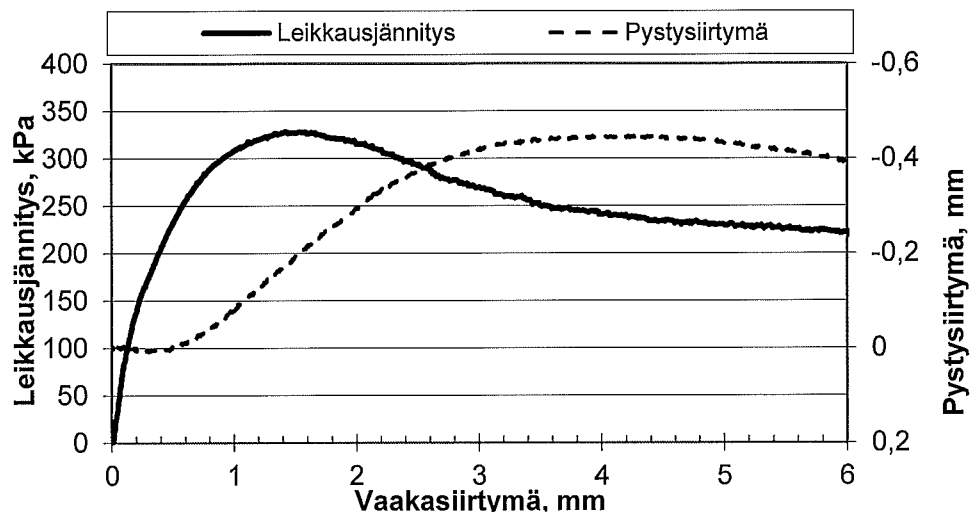
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

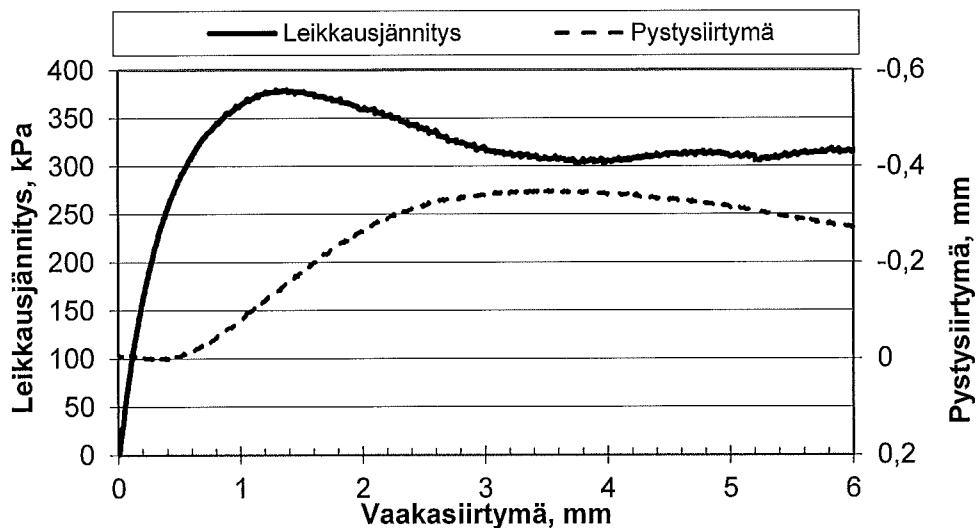
I7_R1j



I7_R2



I7_R3



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

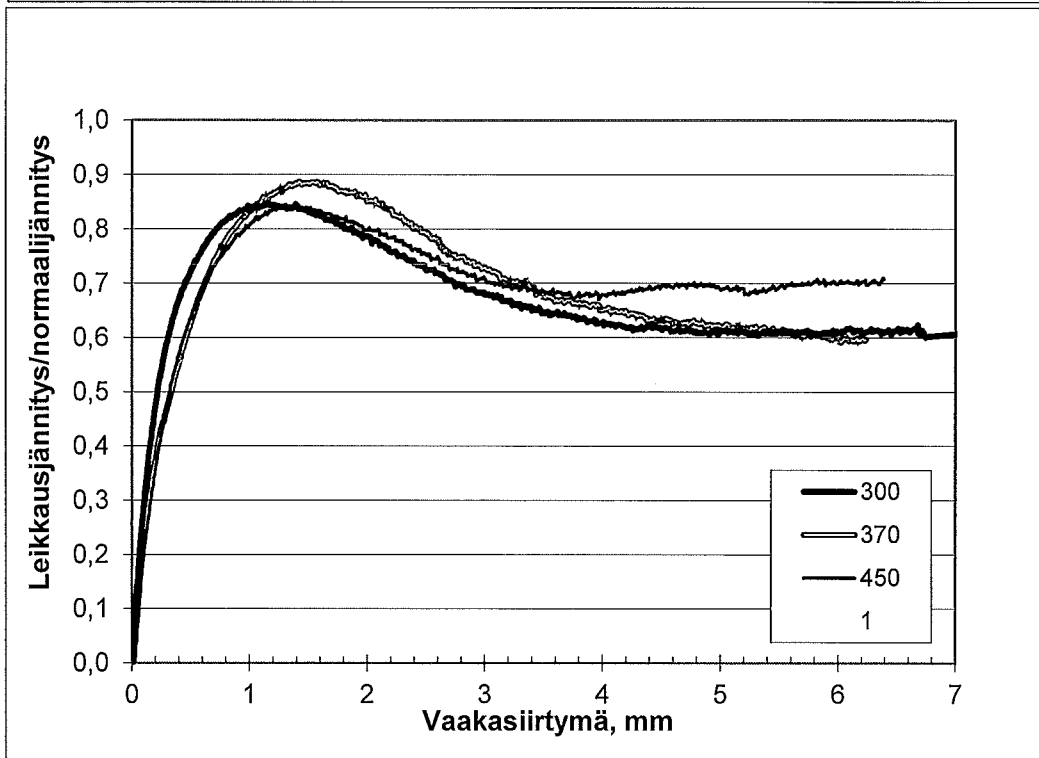
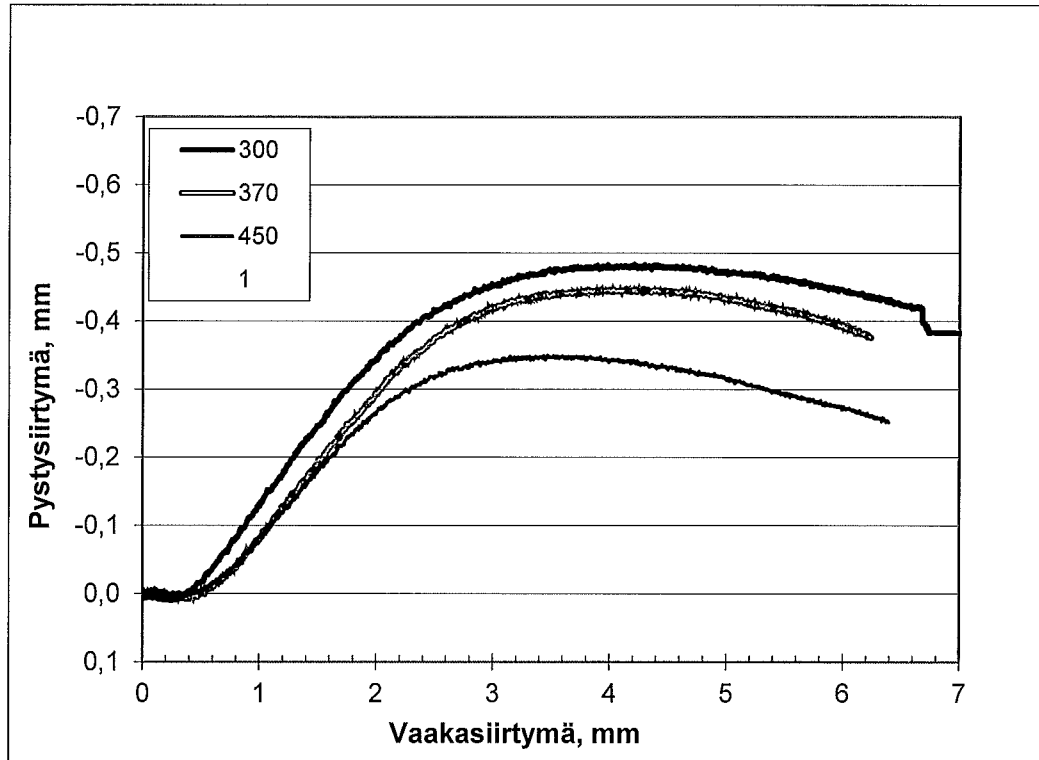
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Hiekka

piste: R571

syvyys: 52-53 m



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

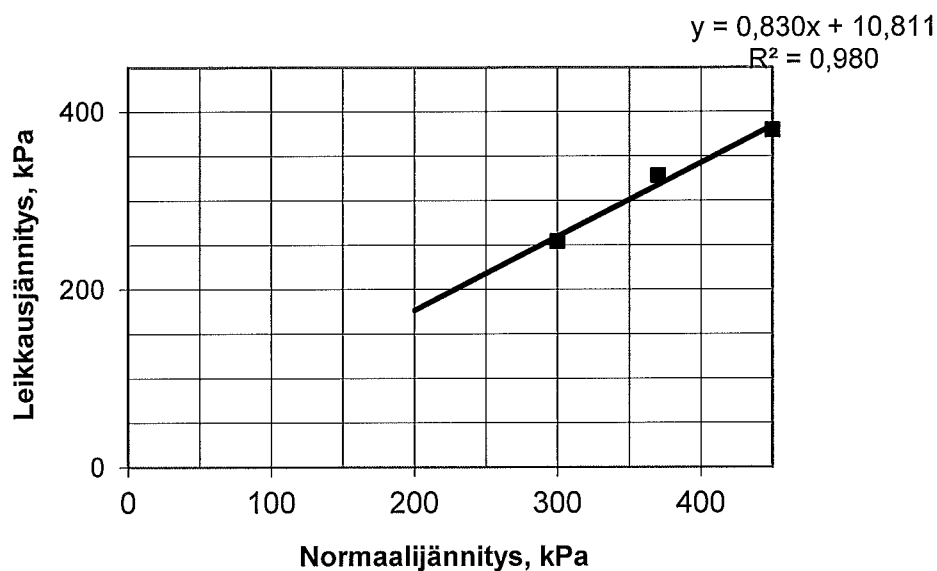
I7_R1j

I7_R2

I7_R3

RASIALEIKKAUSKOE**Tampereen teknillinen yliopisto****ASIAKAS****VR Track Oy****Maa- ja pohjarakenteet****KOHDE****Unelius R571****PL 600 33101 TAMPERE****TYÖNUMERO****7/2014 (I7)****Hiekka****piste: R571****syvyys: 52-53**

Suurimmalla leikkausjännityksillä
Kitkakulma $\varphi = 39,6$ astetta ja koheesio $c = 10,8$ kPa



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R1j

I7_R2

I7_R3

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteiden laitos

KOHDE

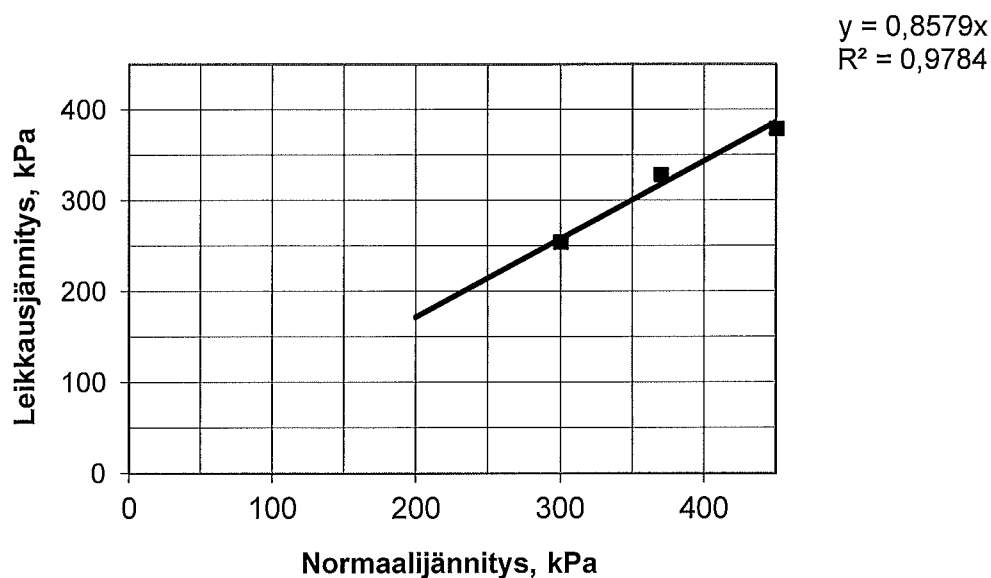
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

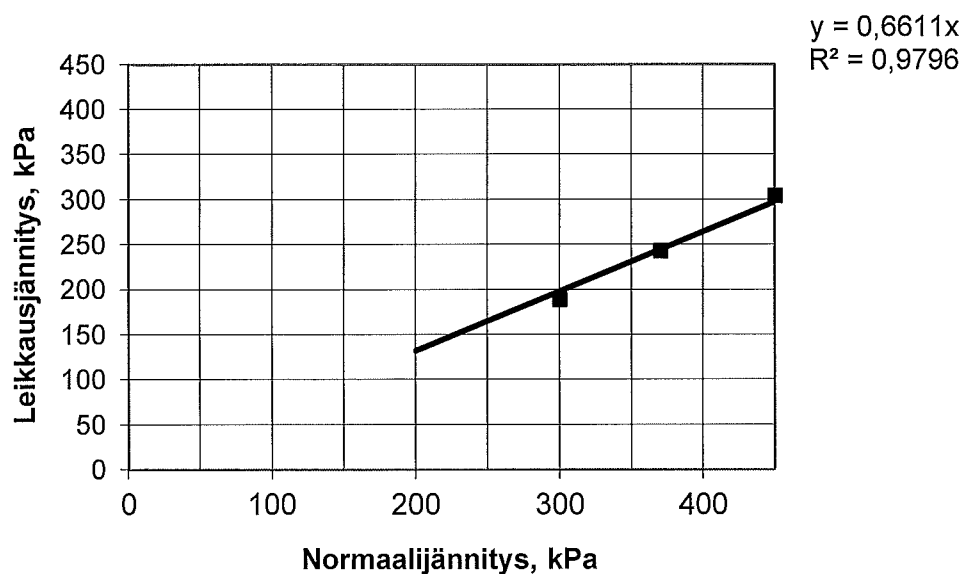
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Suurin leikkausjännitys, koheesio pakotettu nollassi
 Kitkakulma $\varphi = 40,6$ astetta



Jäännöskitkakulma 3,9 mm (6,5 %) siirtymällä, koheesio
 pakotettu nollassi:
 Kitkakulma $\varphi = 33,4$ astetta



Tiedostot:

I7_R1j

I7_R2

I7_R3

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

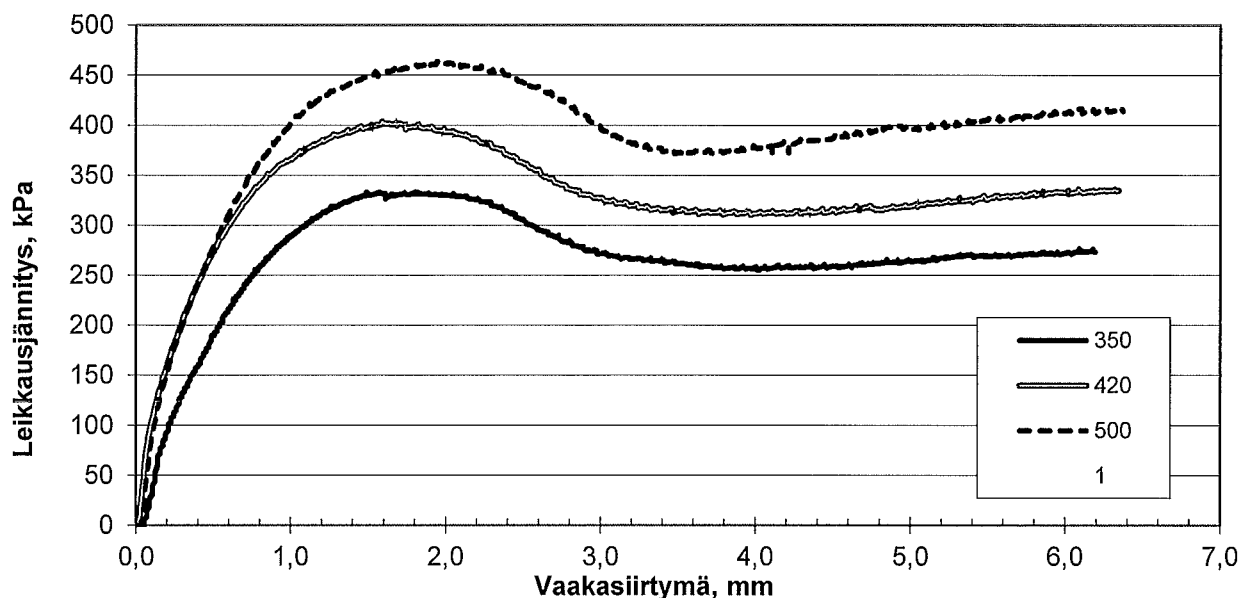
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Päivämäärä: 6. - 11.2.2014

Tilaajan työnumero/projektinnumero:			
Piste, paalu:	R571		
Syvyys:	62 - 63 m		
Maalaji:	Hiekka, yli 4 mm rakeet poistettu		
Tiedosto:	I7_R16	I7_R17	I7_R18
Leikkausnopeus [mm/min]	0,015	0,015	0,015
Normaalijännitys [kPa]	350	420	500

Koenumero	1	w	2	w	3	w	4	w
Alkupaino ja vesipitoisuus [g]	255,5	11,8 %	255,1	12,1 %	254,5	12,1 %		
Paino kuivana [g]	228,45		227,61		229,30			
Näytteen korkeus [mm]	30,78		30,54		30,30			
Alkutilavuus [cm ³]	110,81		109,94		109,08			
Tilavuuspaino	22,6 kN/m ³		22,8 kN/m ³		22,9 kN/m ³		kN/m ³	
Kuivatilavuuspaino	20,2 kN/m ³		20,3 kN/m ³		20,6 kN/m ³		kN/m ³	
Alkukoonpurist [mm]	0,34		0,42		0,40			
Kuivatilavuuspaino konsolid.	20,5 kN/m ³		20,6 kN/m ³		20,9 kN/m ³		kN/m ³	
Vesipitoisuus lopussa	13,2 %		13,3 %		13,9 %			



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

HUOM:

Näytteet tiivistetty tiiviiksi. Tiivistyksessä pinnalle erottunut hieman vettä.
 Rasialeikkauslaatikko täytetty vedellä. Odotettu hetken aikaa ja konsolidoitu.

TUTKI:

TAMPERE

PAIKKA

PÄIVÄYS

Niko Levo

Laboratoriomestari

TARKASTI:

TAMPERE

PAIKKA

PÄIVÄYS

NUUTTI VUORIMIES

Projektipäällikö, DI

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

KOHDE

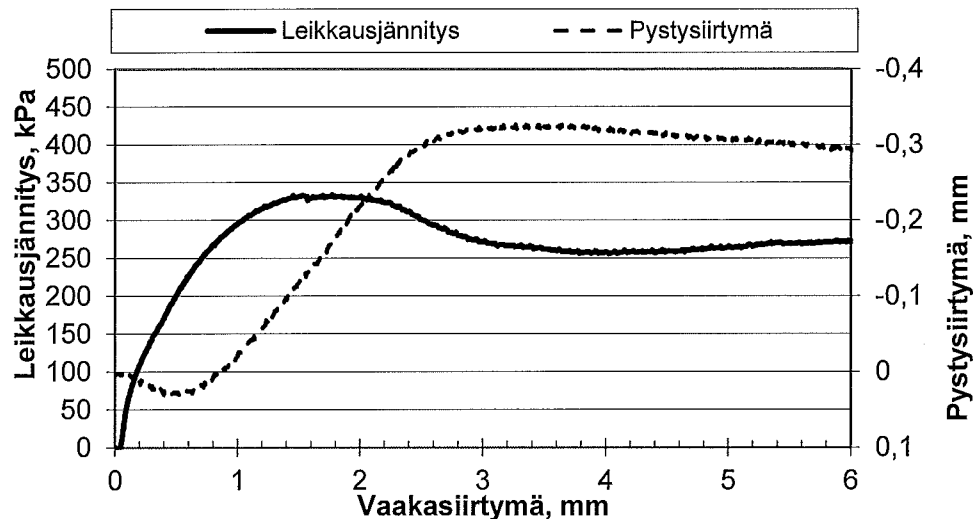
Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

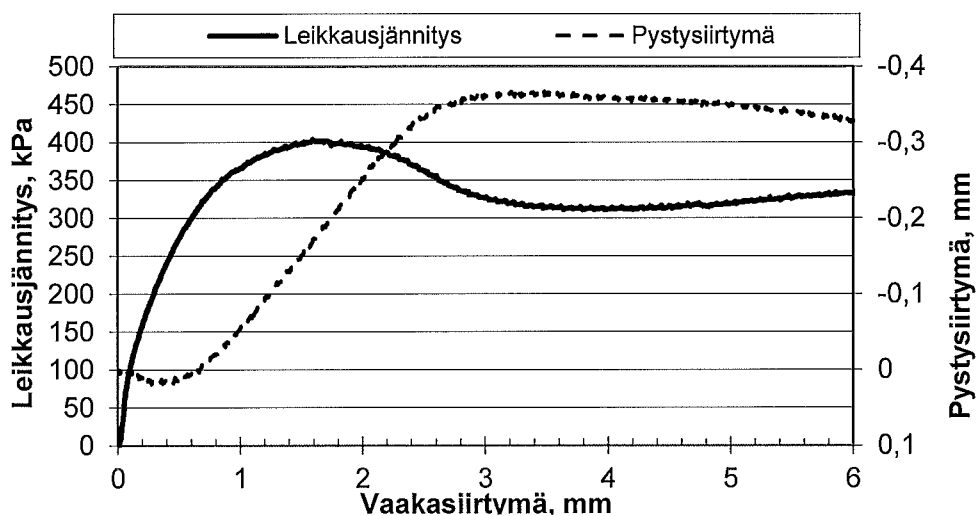
TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

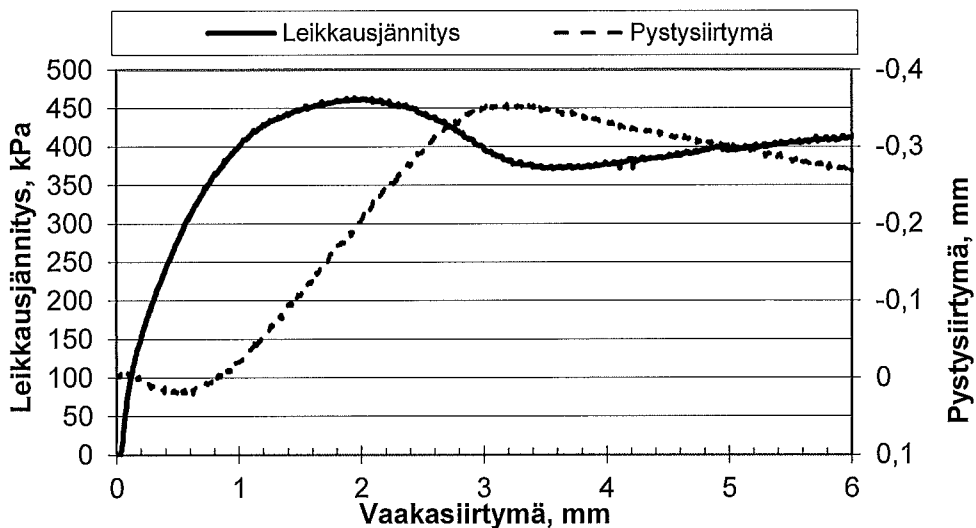
I7_R16



I7_R17



I7_R18



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteet

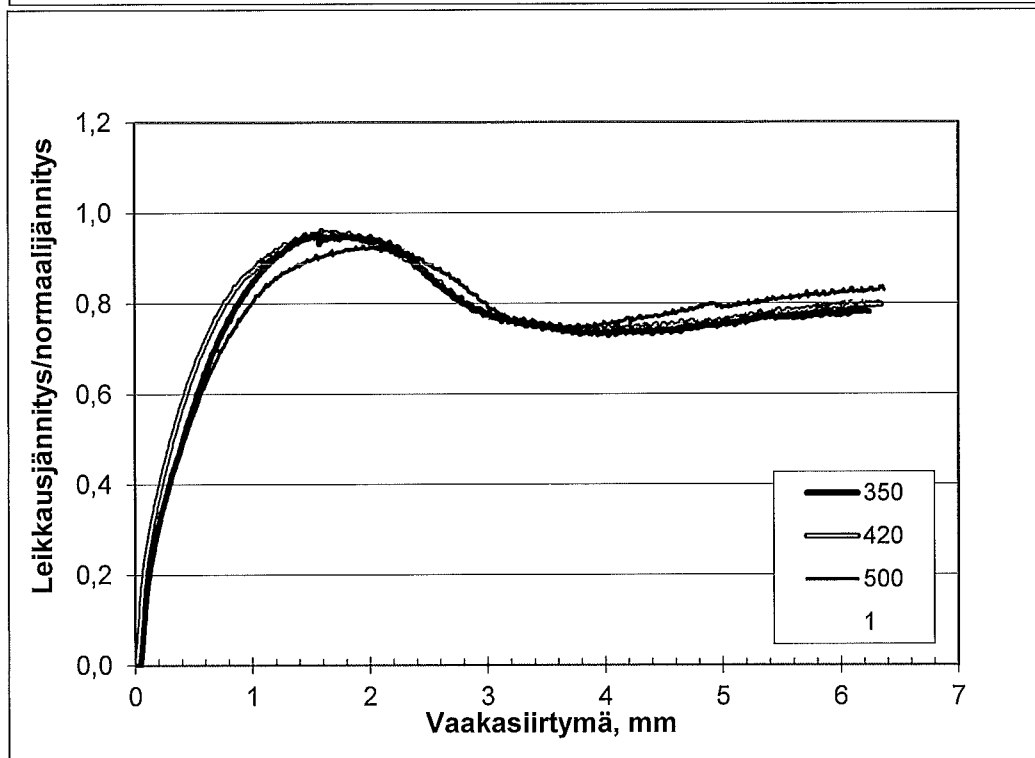
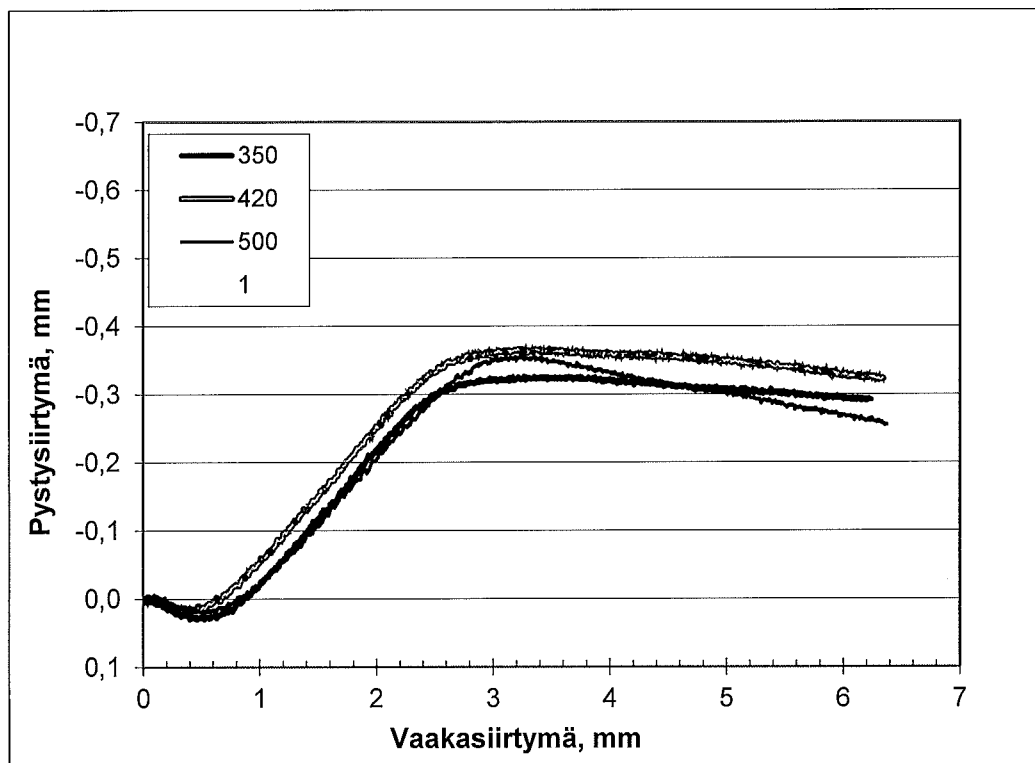
KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

Hiekka, yli 4 mm rakeet poistettu
piste: R571 syvyys: 62 - 63 m m


3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot:

I7_R16

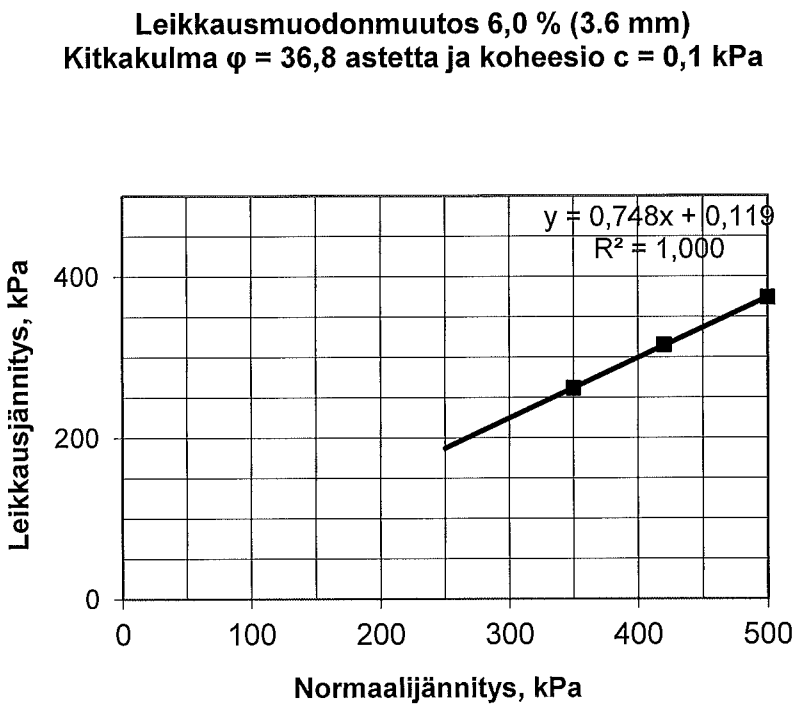
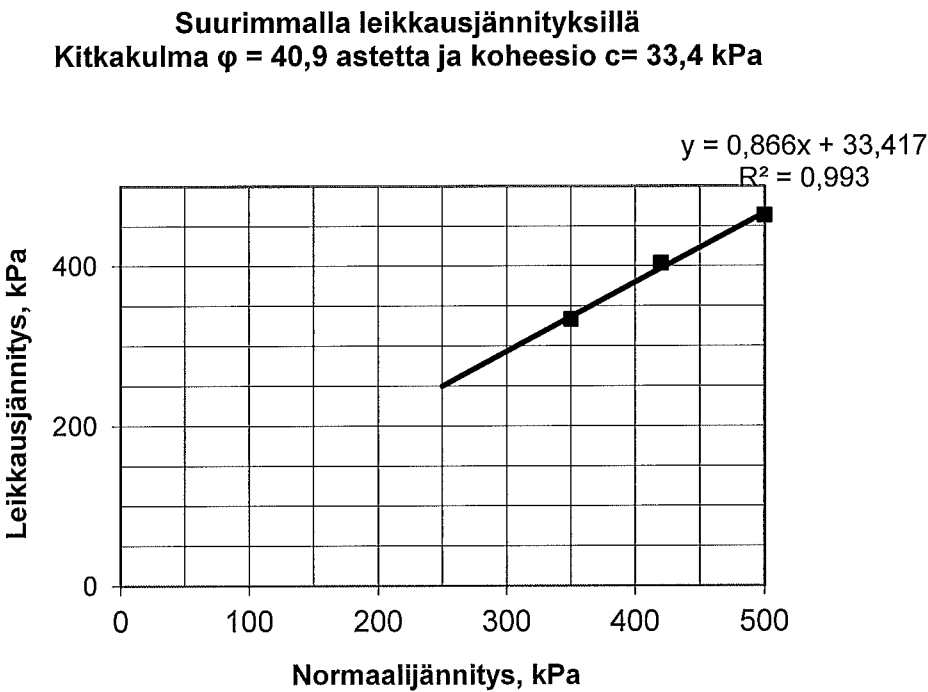
I7_R17

I7_R18

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto	ASIAKAS	VR Track Oy
Maa- ja pohjarakenteet	KOHDE	Unelius R571
PL 600 33101 TAMPERE	TYÖNUMERO	7/2014 (I7)

Hiekka, yli 4 mm rakeet poistettu piste: syvyys: 62 - 63 m
R571



3 mm on 5 % vaakasiirtymä ja 1.2 mm on 2 % vaakasiirtymä

Tiedostot: I7_R16
I7_R17
I7_R18

RASIALEIKKAUSKOE

Tampereen teknillinen yliopisto

ASIAKAS

VR Track Oy

Maa- ja pohjarakenteiden laitos

KOHDE

Unelius R571

PL 600 33101 TAMPERE

TYÖNUMERO

7/2014 (I7)

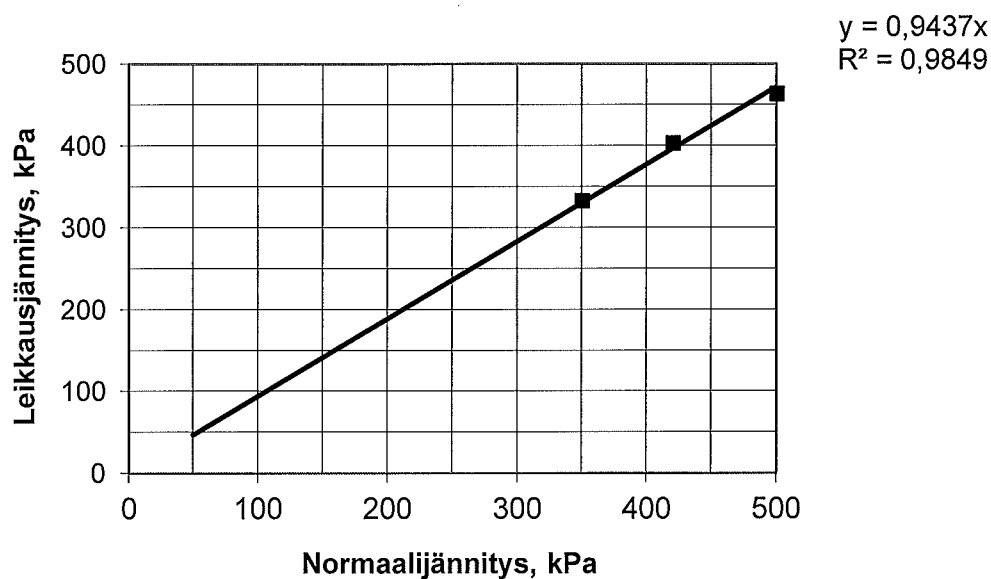
Hiekka, yli 4 mm rakeet poistettu

piste:

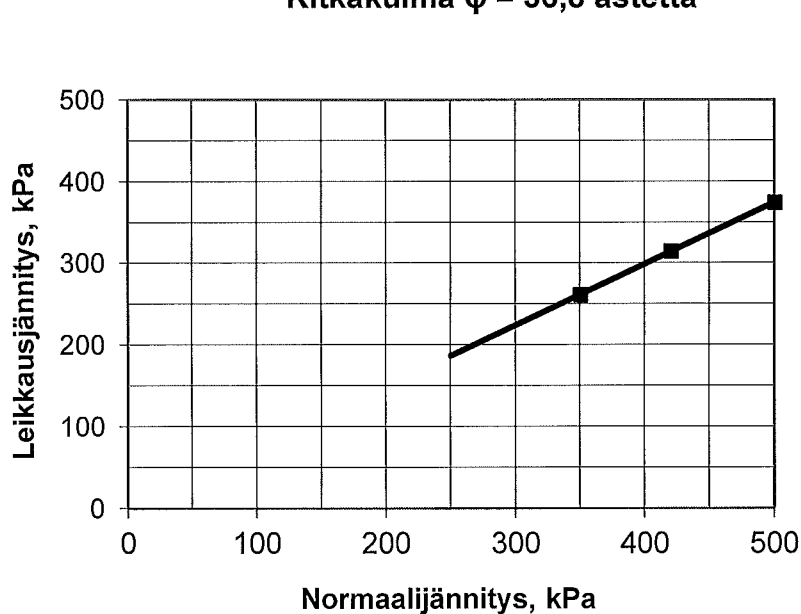
R571

syvyys: 62 - 63 m

Suurin leikkausjännitys, koheesio pakotettu nolllaksi
Kitkakulma $\varphi = 43,3$ astetta



Jäännöskitkakulma 3,6 mm (6,0 %) siirtymällä, koheesio pakotettu nolllaksi:
Kitkakulma $\varphi = 36,8$ astetta

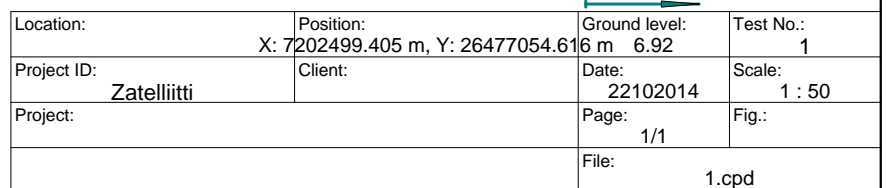


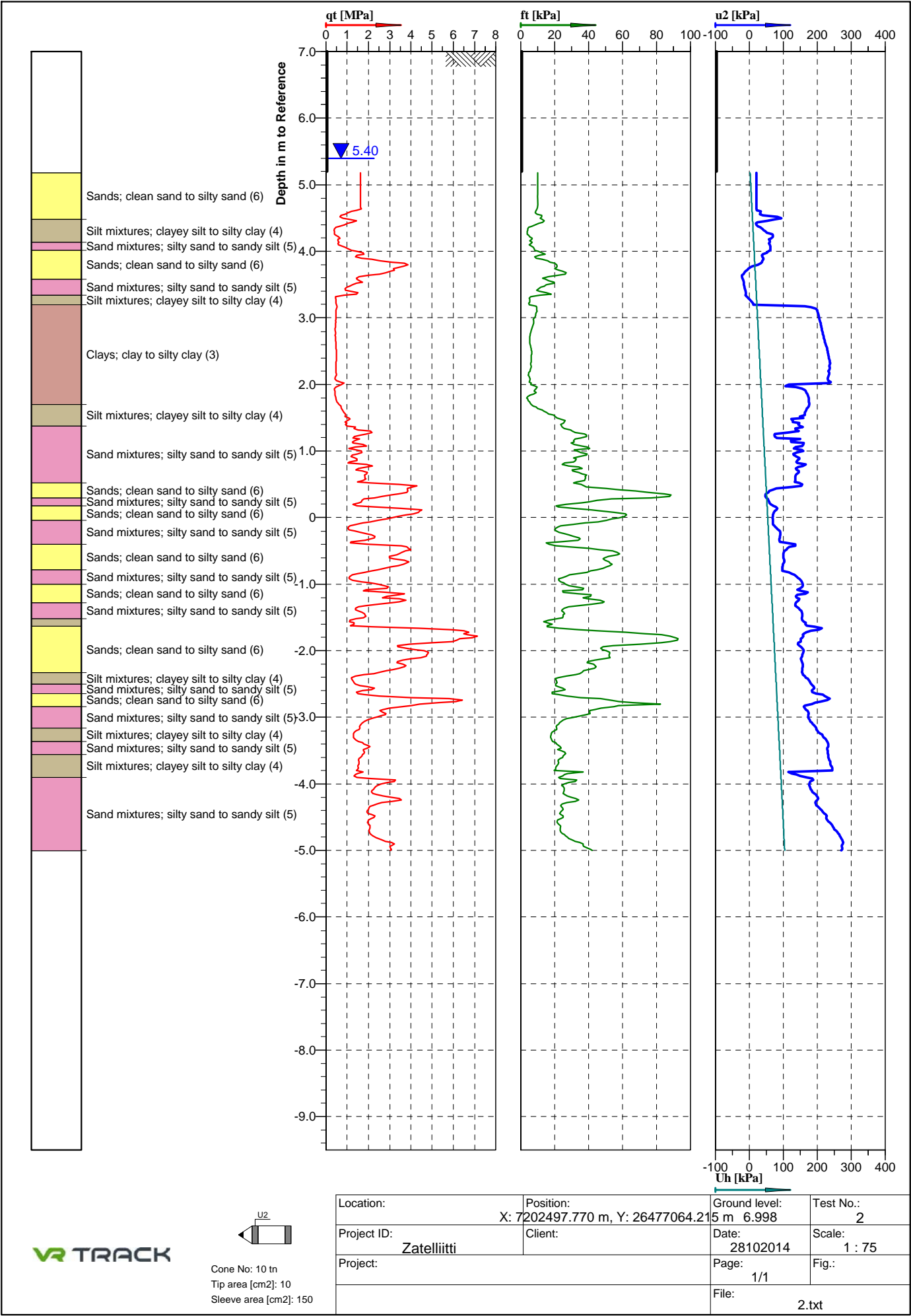
Tiedostot:

I7_R16

I7_R17

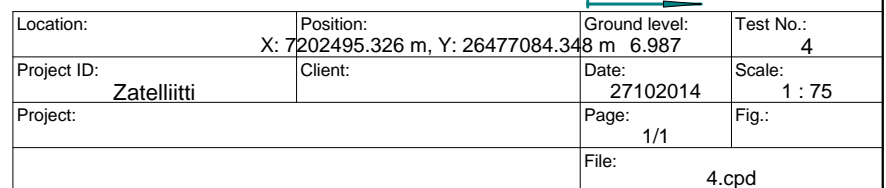
I7_R18

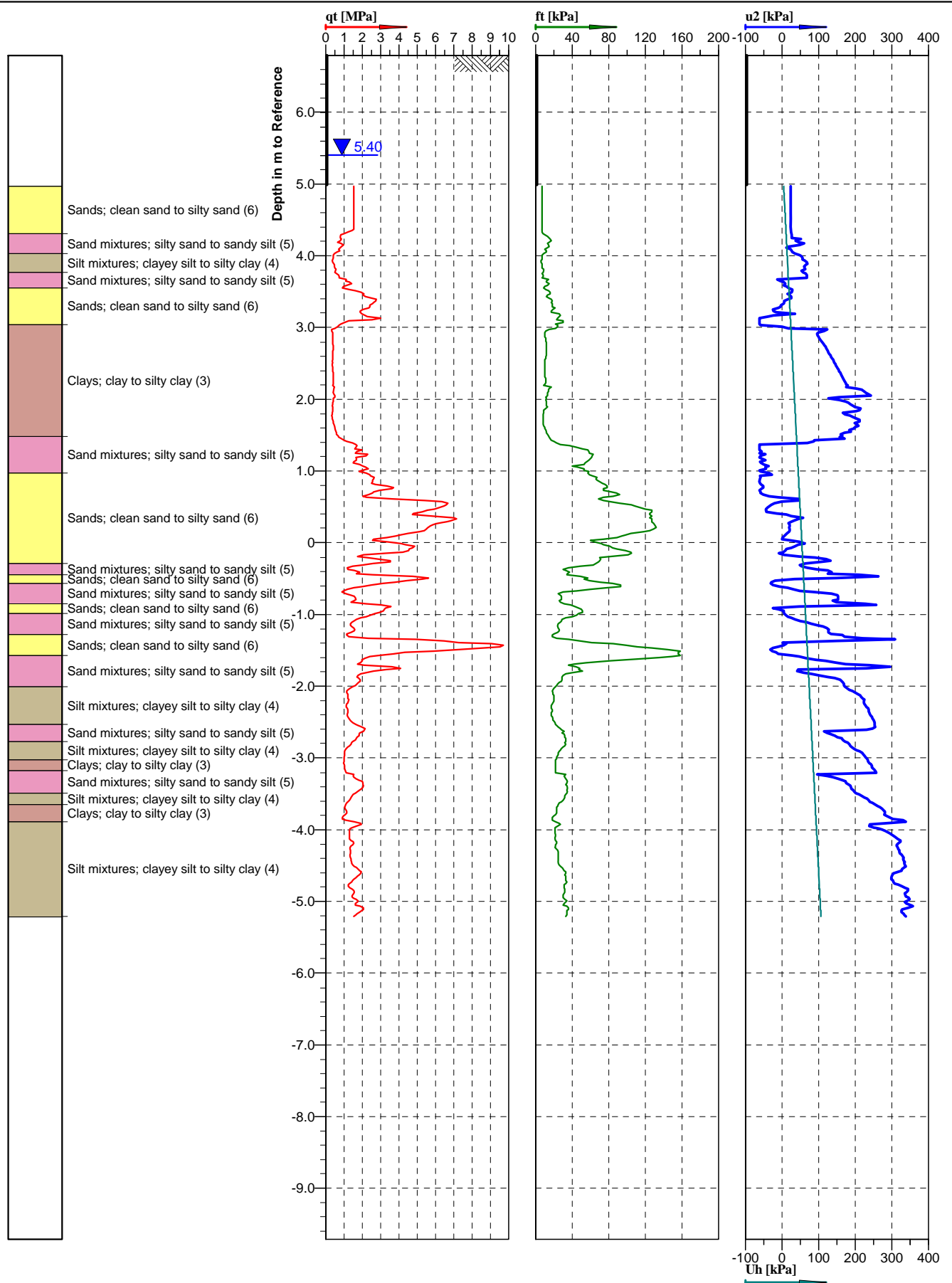






Location:	Position:	Ground level:	Test No.:
	X: 7202496.652 m, Y: 26477074.272 m	6.84	3
Project ID:	Client:	Date:	Scale:
7399		28102014	1 : 50
Project:		Page:	Fig.:
Zatelliitti		1/1	
		File:	3.cpd





Location:	Position:	Ground level:	Test No.:
	X: 7202493.661 m, Y: 26477094.334 m	6.790	5
Project ID:	Client:	Date:	Scale:
Zatelliitti		27102014	1 : 75
Project:		Page:	Fig.:
		1/1	
		File:	5.cpd



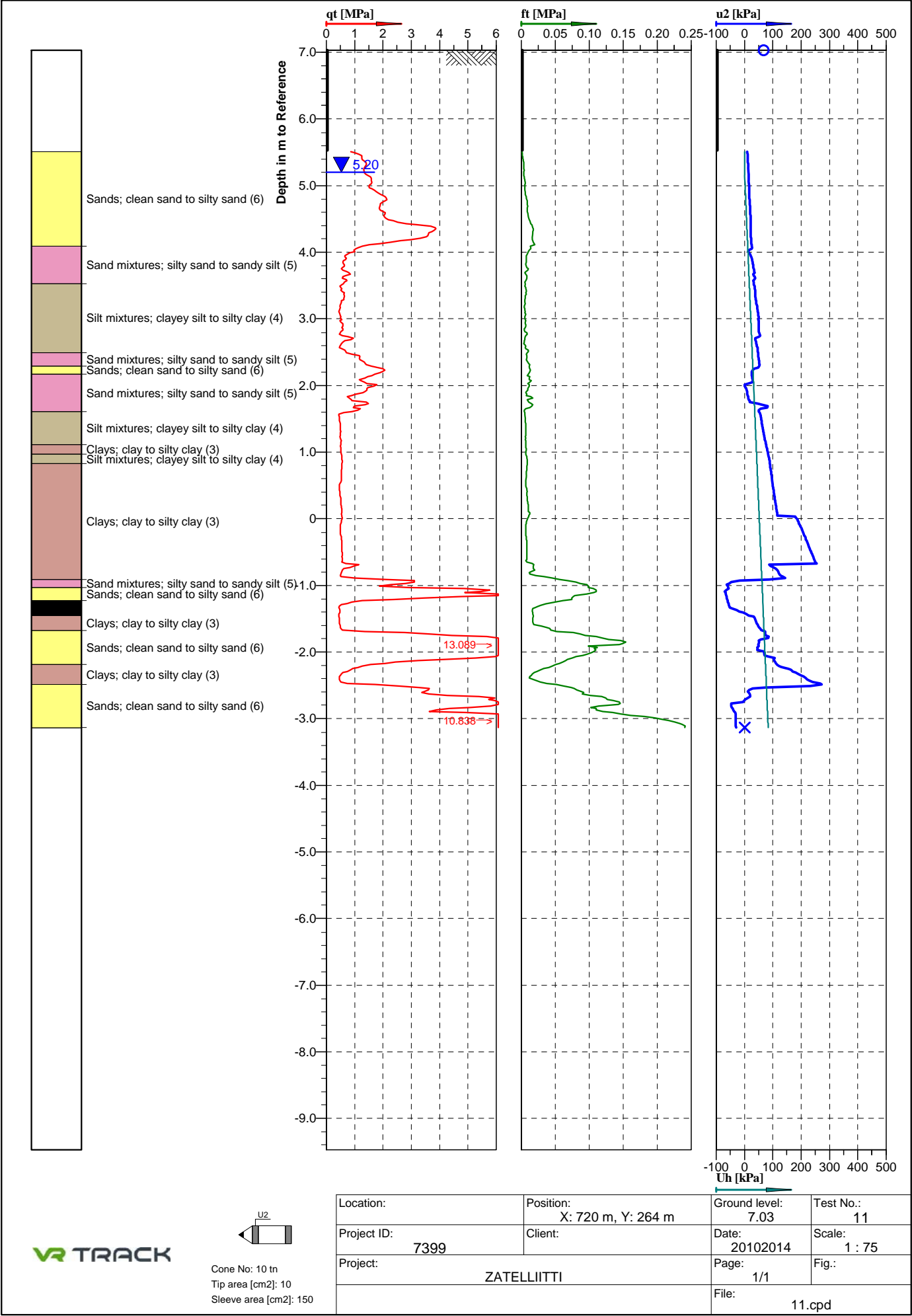
Location:	Position:	Ground level:	Test No.:
	X: 7202493.196 m, Y: 26477104.118 m	7.10	6
Project ID:	Client:	Date:	Scale:
Zatelliitti		27102014	1 : 50
Project:		Page:	Fig.:
		1/1	
		File:	
			6.cpd



Location:	Position:	Ground level:	Test No.:
	X: 7202490.922 m, Y: 26477123.551 m	7.08	8
Project ID:	Client:	Date:	Scale:
Zatelliitti		28102014	1 : 150
Project:		Page:	Fig.:
		1/1	
		File:	8.txt

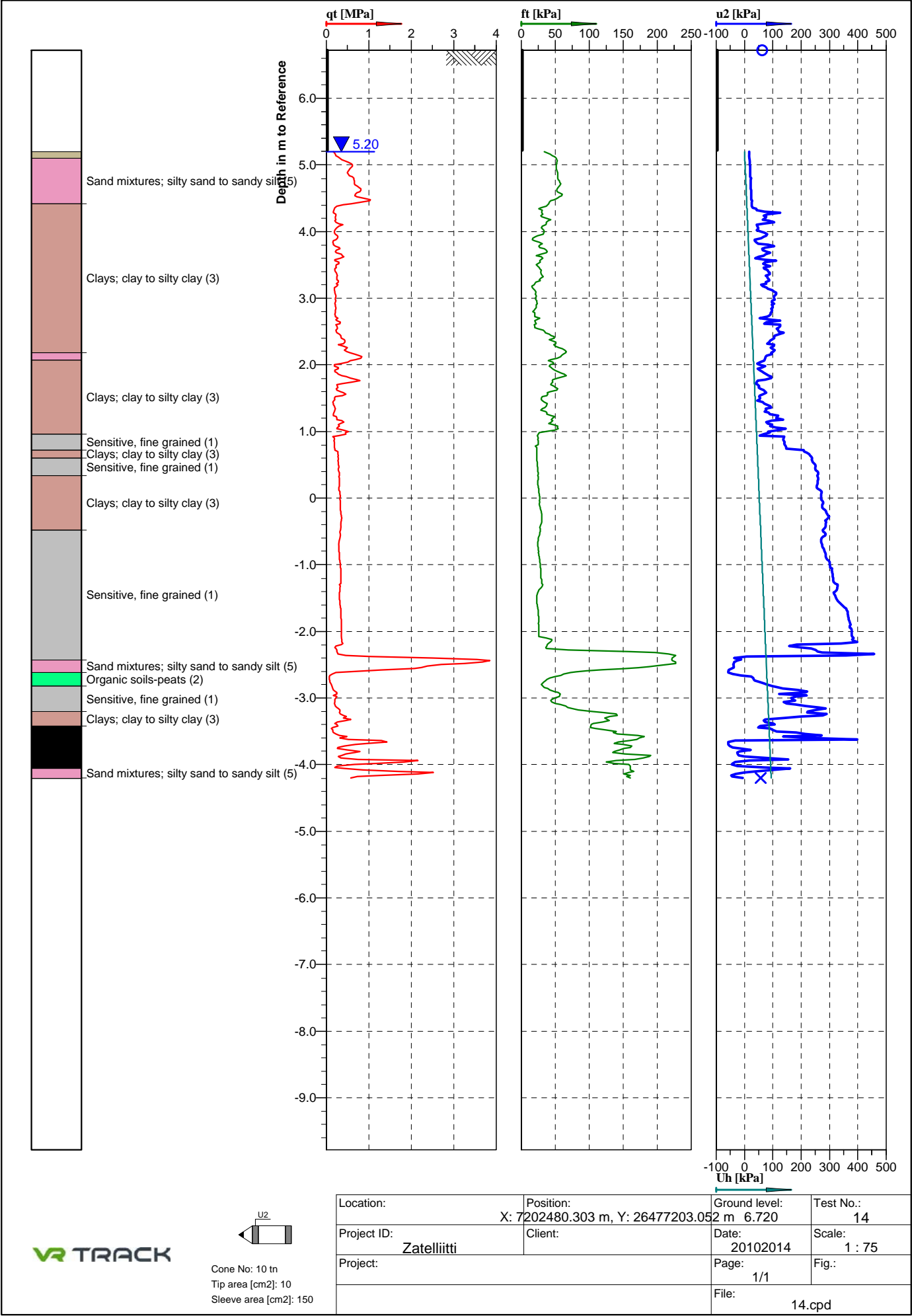


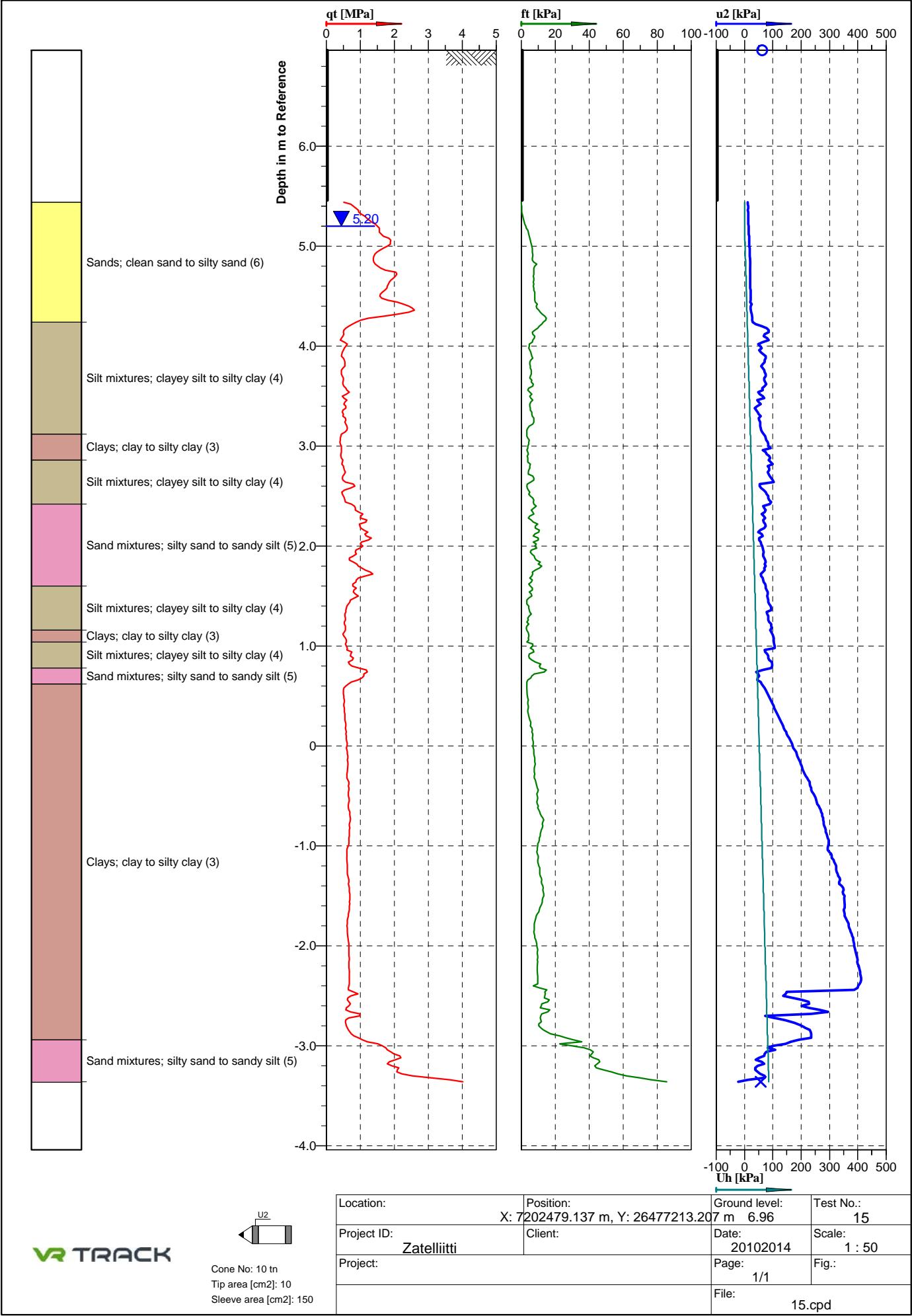
Location:	Position: X: -999999 m, Y: -999999 m	Ground level: 7.086	Test No.: 9
Project ID: 7399	Client:	Date: 16102014	Scale: 1 : 100
Project: ZATELLIITTI		Page: 1/1	Fig.:
		File: 9.cpd	

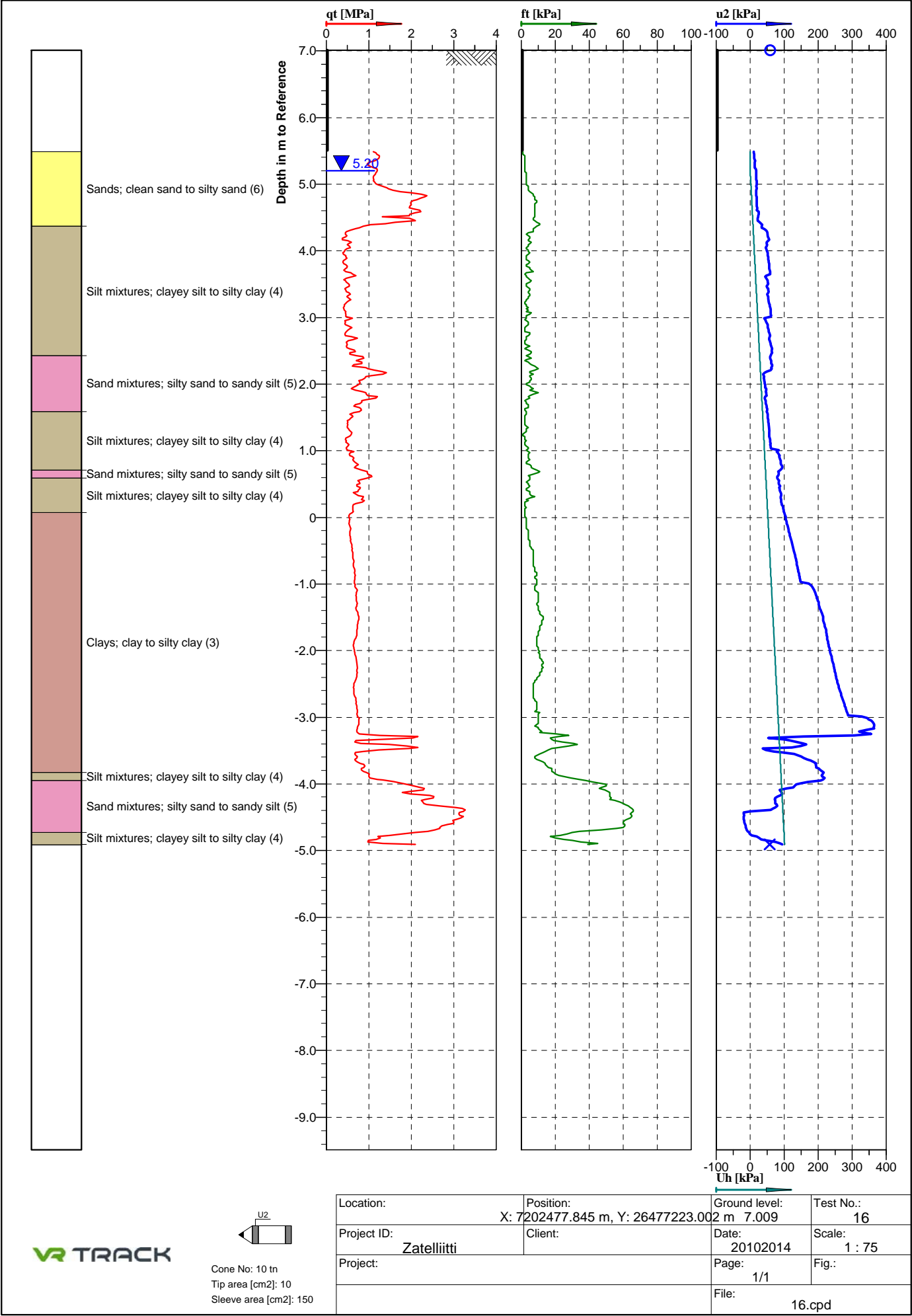


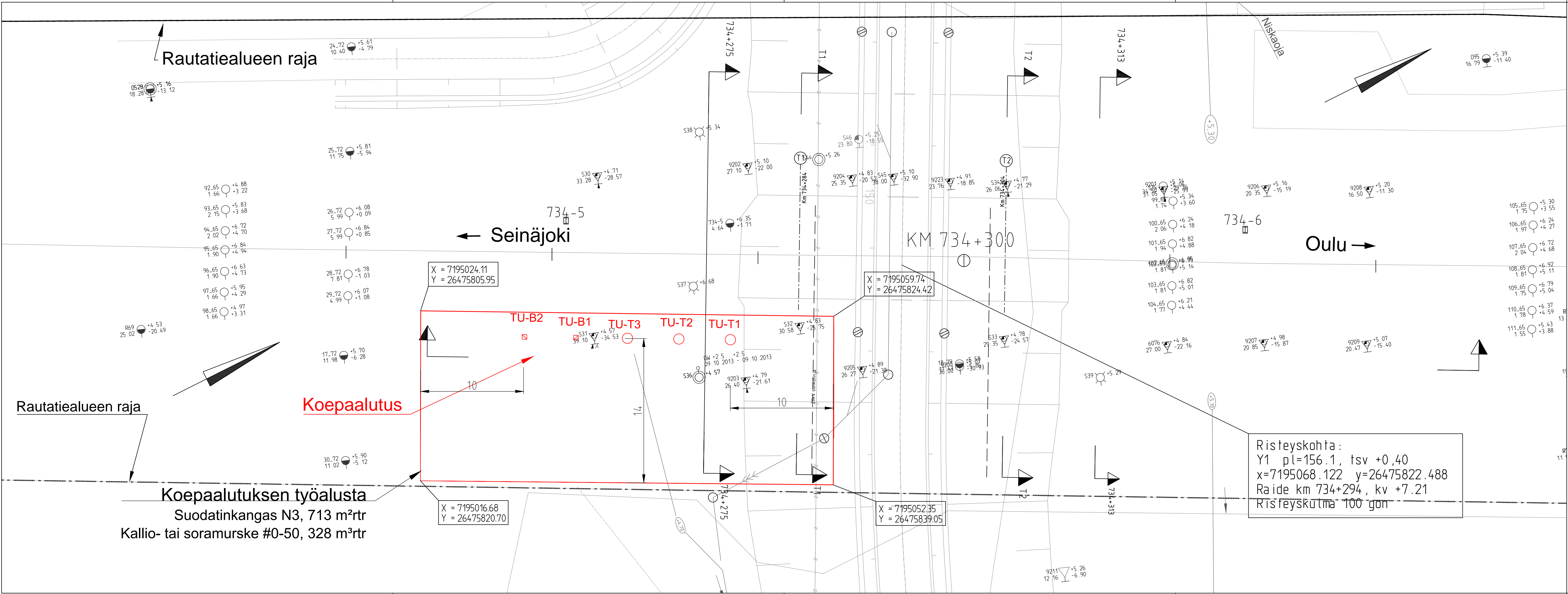


Location:	Position: X: -999999 m, Y: -999999 m	Ground level: 6.85	Test No.: 13
Project ID: 7399	Client:	Date: 20102014	Scale: 1 : 75
Project: ZATELLIITTI		Page: 1/1	Fig.:
		File: 13.cpd	







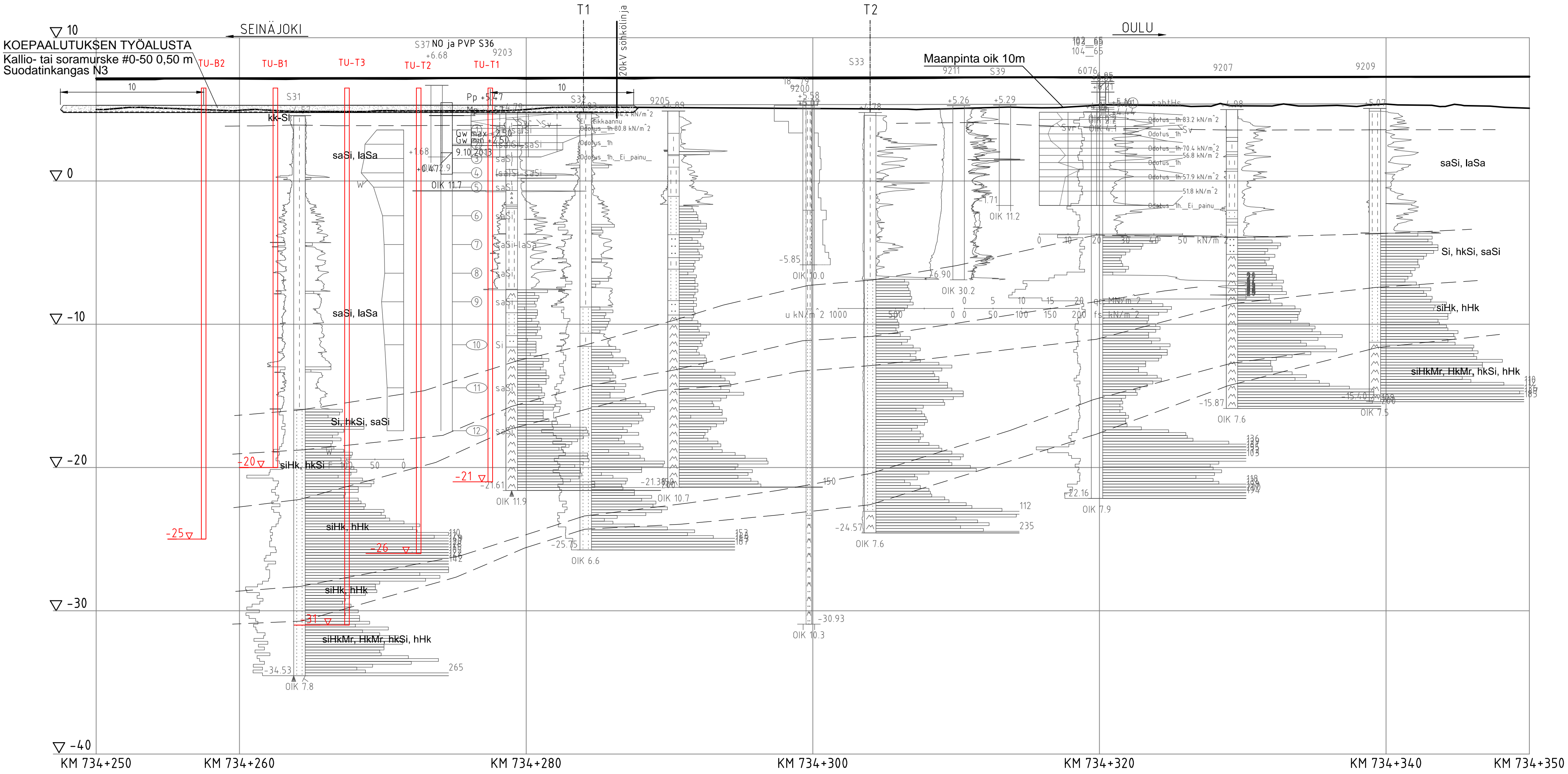
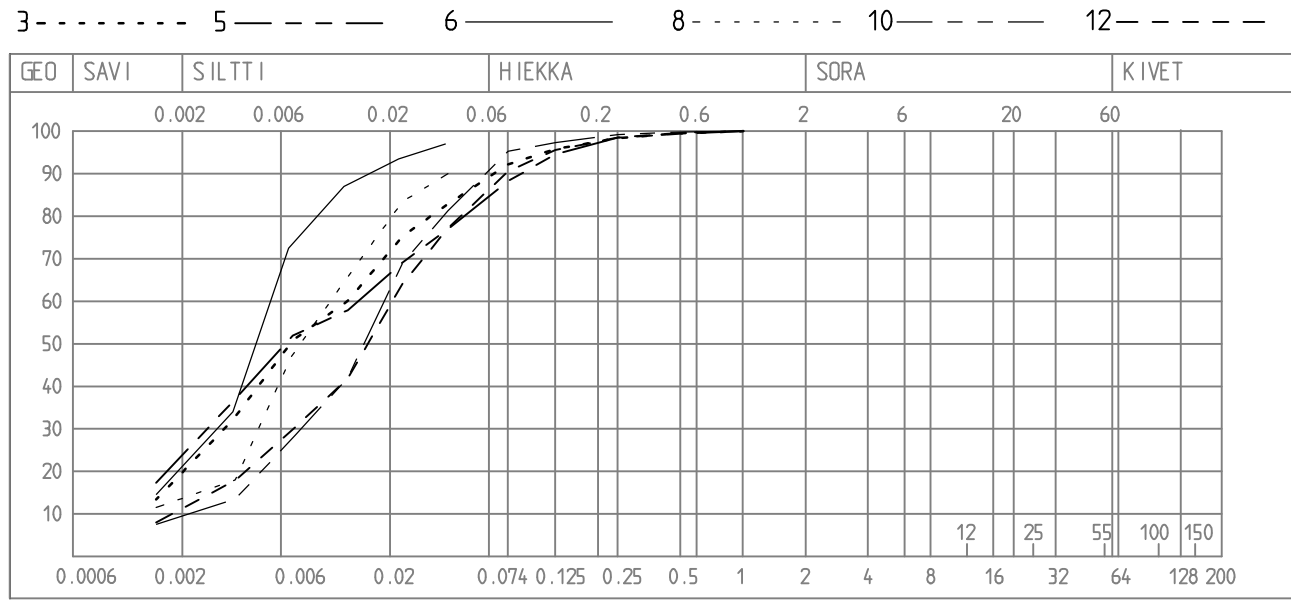




Vain koepaalutusta varten

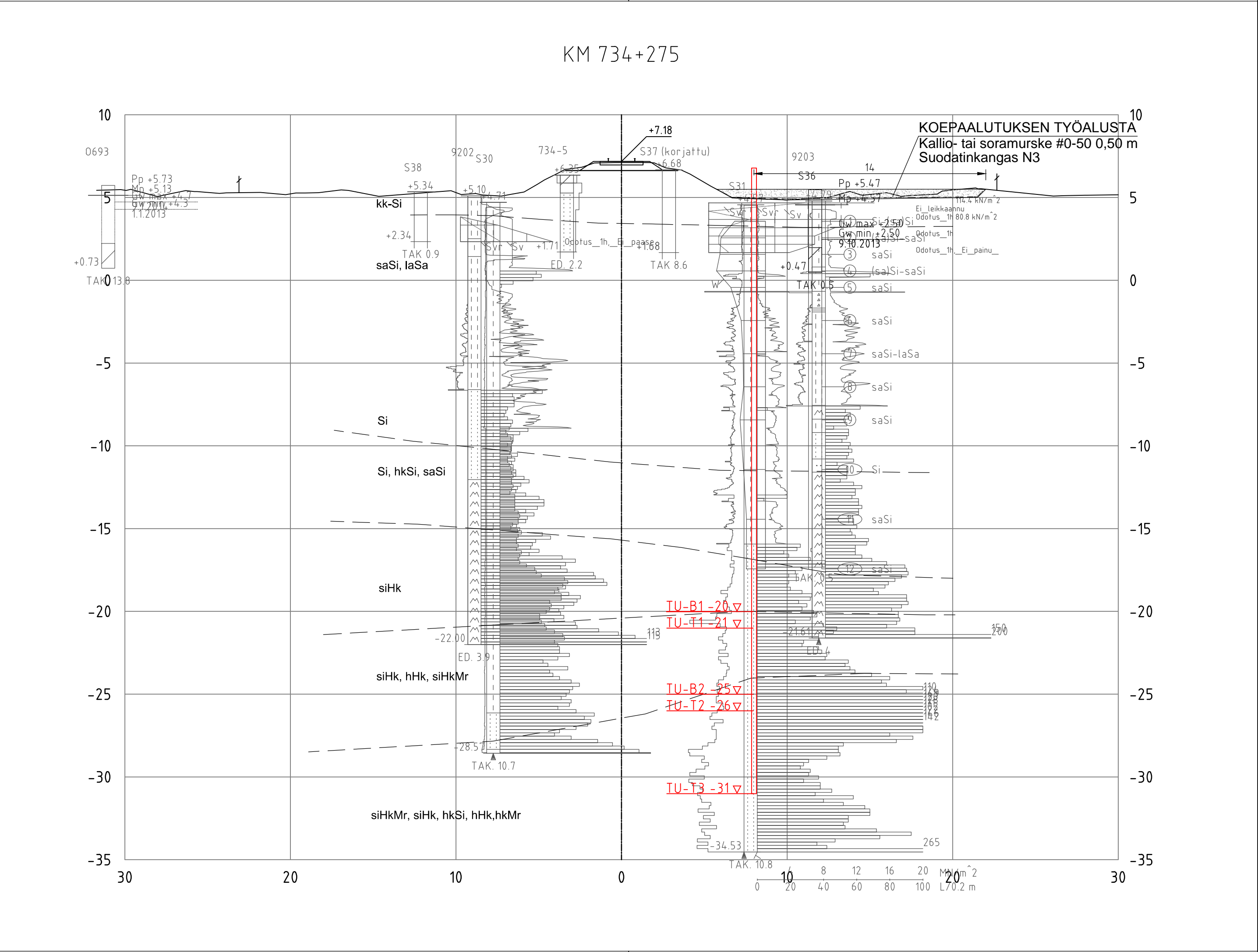
MUUT.		SELITYS		PVM	TEHNYT	PVM	HYV.
<div>TILAAJA</div> <div></div>				HANKE			
				LIMINKA - OULU RAKENTAMISSUUNNITTELU			
<div>TOIMITTAJA</div> <div></div>				SUUNNITTELUVAIHE			
				RAKENTAMISSUUNNITTELU			
<div>PIIRT.</div> <div>7.11.2014</div> <div>Satu Joronen</div>				<div>KOHDIE JA KUNTA</div> <div>TUULIHARJU ALIKULKUSILTA</div> <div>KM 734+294</div>			
				<div>SUUNN.</div> <div>7.11.2014</div> <div>Heikki Komulainen</div>			
				<div>TARK.</div> <div>7.11.2014</div> <div>Seppo Hakala</div>			
				<div>HYV.</div> <div>7.11.2014</div> <div>Hannu Siira</div>			
TARKASTAJA				KUORMITUS			
				KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJ.			
				RATAOSA			
				GK 26 / N2000			
TARK.				KM + M			
HYV.				4034 GEO			
TIL. HYV.				PAIKKA LAJI PIIR.NRO MUUT. LEHTI LEHTIÄ			
				008 / Sk -OI			
				734+294			
				4034 GEO			
				- 1			

Näytepiste S36



Vain koepaalutusta varten

MUUT.		SELITYS		PVM	TEHNYT	PVM	HYV.
TILAAJA				HANKE			
				LIMINKA - OULU RAKENTAMISSUUNNITTELU			
				SUUNNITTELUVAIHE RAKENTAMISSUUNNITTELU			
TOIMITTAJA				KOHDE JA KUNTA			
				TUULIHARJU ALIKULKUSILTA KM 734+294			
PIIRT.	7.11.2014	Satu Joronen		PIIRUSTUS			
SUUNN.	7.11.2014	Heikki Komulainen		Geotekninen pituusleikkaus oik			
TARK.	7.11.2014	Seppo Hakala		Koepaalutus			
HYV.	7.11.2014	Hannu Siira		km 734+270 - 734+290			
TARKASTAJA				KUORMITUS			
				KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJ.			
				RATAOSA			
				GK 26 / N2000			
				008 / Sk -OI			
TARK.				KM + M			
				734+294			
HYV.				PAIKKA LAJI PIIR.NRO MUUT. LEHTI LEHTÄ			
TIL. HYV.				4034 GEO - 2			



Vain koepaalutusta varten

MUUT.	SELITYS		PVM	TEHNYT	PVM	HYV.
TILAAJA			HANKE			
			LIMINKA - OULU RAKENTAMISSUUNNITTELU			
TOIMITTAJA			SUUNNITTELUVAIHE RAKENTAMISSUUNNITTELU			
			KOHDE JA KUNTA TUULIHARJUN ALIKULKUSILTA KM 734+294			
PIIRT.	7.11.2014	Satu Joronen	PIIRUSTUS Poikkileikkaukset km 734+275 ja 734+284 Koepaalutus			
SUUNN.	7.11.2014	Heikki Komulainen				
TARK.	7.11.2014	Seppo Hakala				
HYV.	7.11.2014	Hannu Siira				
TARKASTAJA			KUORMITUS			
			KOORDINAATTI- JA KORKEUSJÄRJ. GK 26 / N2000			
			RATAOSA 008 / Sk -OI			
TARK.			KM + M 734+294			
HYV.			PAIKKA LAJI PIIR.NRO MUUT. LEHTI LEHTIÄ			
TIL. HYV.			4034 GEO - 3			

[illegible]

Maasto-Seppo Oy

Koepaalutusprotokollakirja

Zateliitti	PM 20	5 t
-------------------	--------------	------------

Paalu	ZEB2	15+7+15
--------------	-------------	----------------

Lyöntitaso	noin +7,00
-------------------	-------------------

Tavoitetaso -29,00

Pudotus- korkeus m	Iskuja kpl	Painuma		Painuma	Jousto	kärjen syvyys mittaustasosta m	pvm	Huomautuksia, paalun jatkaminen, keskeytykset, ym
		mm	mm/isku	mm/10 iskua	mm			
0,1	40	1000	25			1	24.2.15	
0,1	15	1000	67			2		
0,1	18	1000	56			3		
0,1	3	1000	333			4		
0,1	27	1000	37			5		
0,1	1	1000	1000			6		
0,1	5	1000	200			7		
0,1	16	1000	63			8		
0,1	50	1000	20			9		
0,1	45	1000	22			10		
0,3	44	1000	23			11		
0,3	33	1000	30			12		
0,3	46	1000	22			13		
0,3	42	1000	24			14	3.3.15	jatkaminen
0,3	58	1000	17	172		15		
0,3	49	1000	20	204		16		
0,3	40	1000	25	250		17		
0,3	44	1000	23	227		18		
0,3	40	1000	25	250		19		
0,3	40	1000	25	250		20		
0,3	39	1000	26	256		21		
0,2	102	1000	10	98		22	3.3.15	jatkaminen
0,2	100	1000	10	100		23		
0,2	68	1000	15	147		24		
0,2	56	1000	18	179		25		
0,2	58	1000	17	172		26		
0,2	48	1000	21	208		27		
0,2	50	1000	20	200		28		
0,2	53	1000	19	189		29		
0,2	70	1000	14	143		30		
0,2	56	1000	18	179		31		
0,2	55	1000	18	182		32		
0,2	55	1000	18	182		33		
0,2	50	1000	20	200		34		
0,2	51	1000	20	196		35		
0,2	37	1000	27	270		36		

Maasto-Seppo Oy

Koepaalutuspöytäkirja

Zateliitti	PM 20	5 t	Paalu	ZET1	16+16
------------	-------	-----	-------	------	-------

Lyöntitaso	noin +7,00	Tavoitetaso -23,00
-------------------	-------------------	---------------------------

[illegible]

Maasto-Seppo Oy

Koepaalutuspöytäkirja

Zateliitti		PM 20	5 t	Paalu	ZET3	16+8+16		
				Lyöntitaso	noin +7,00	Tavoitetaso -32,00		
Pudotus- korkeus m	Iskuja kpl	Painuma		Painuma	Jousto	kärjen syvyys mittaustasosta m	pvm	Huomautuksia, paalun jatkaminen, keskeytykset, ym
		mm	mm/isku	mm/10 iskua	mm			
0,1	16	1000	63			1	24.2.15	
0,1	28	1000	36			2		
0,1	4	1000	250			3		
0,1	2	1000	500			4		
0,1	1	1000	1000			5		
0,1	1	1000	1000			6		
0,1	10	1000	100			7		
0,1	15	1000	67			8		
0,1	10	1000	100			9		
0,1	28	1000	36			10		
0,1	23	1000	43			11		
0,1	20	1000	50			12		
0,1	12	1000	83			13		
0,1	20	1000	50			14		vesitäyttö
0,1	20	1000	50			15	2.3.15	jatkaminen
0,1	50	1000	20	200		16		
0,1	62	1000	16	161		17		
0,1	49	1000	20	204		18		
0,1	43	1000	23	233		19		
0,1	42	1000	24	238		20		
0,1	39	1000	26	256		21		
0,1	51	1000	20	196		22		
0,1	50	1000	20	200		23		jatkaminen
0,1	30	1000	33	333		24		
0,1	47	1000	21	213		25		
0,1	54	1000	19	185		26		
0,1	56	1000	18	179		27		
0,1	58	1000	17	172		28		
0,1	47	1000	21	213		29		
0,1	48	1000	21	208		30		
0,1	51	1000	20	196		31		
0,1	50	1000	20	200		32		
0,2	63	1000	16	159		33		
0,3	121	1000	8	83		34		
0,5	320	1000	3	31		35		
0,5	255	1000	4	39		36		
0,5	341	1000	3	29		37		
0,5	426	1000	2	23		38		

Maasto-Seppo Oy

Koepaalutuspöytäkirja

Zateliitti		PM 20	5 t	Paalu	ZPT4	16+7+16		
				Lyöntitaso	noin +7,00	Tavoitetaso -30,00		
Pudotus- korkeus m	Iskuja kpl	Painuma		Painuma	Jousto	kärjen syvyys mittaustasosta m	pvm	Huomautuksia, paalun jatkaminen, keskeytykset, ym
		mm	mm/isku	mm/10 iskua	mm			
0,1	14	1000	71			1	24.2.15	
0,1	14	1000	71			2		
0,1	1	1000	1000			3		
0,1	1	1000	1000			4		
0,1	1	1000	1000			5		
0,1	5	1000	200			6		
0,1	1	1000	1000			7		
0,1	1	1000	1000			8		
0,1	1	1000	1000			9		
0,1	1	1000	1000			10		
0,1	11	1000	91			11		
0,1	9	1000	111			12		
0,1	15	1000	67			13		
0,1	18	1000	56			14		vesitäyttö
0,2	20	1000	50			15	2.3.15	jatkaminen
0,2	63	1000	16	159		16		
0,2	72	1000	14	139		17		
0,2	70	1000	14	143		18		
0,2	75	1000	13	133		19		
0,2	72	1000	14	139		20		
0,2	75	1000	13	133		21		
0,2	70	1000	14	143		22		jatkaminen
0,2	69	1000	14	145		23		
0,3	57	1000	18	175		24		
0,3	68	1000	15	147		25		
0,3	65	1000	15	154		26		
0,3	57	1000	18	175		27		
0,3	62	1000	16	161		28		
0,3	50	1000	20	200		29		
0,3	50	1000	20	200		30		
0,3	52	1000	19	192		31		
0,3	54	1000	19	185		32		
0,3	54	1000	19	185		33		
0,3	40	1000	25	250		34		
0,3	44	1000	23	227		35		
0,3	50	1000	20	200		36		
0,3	53	1000	19	189		37		

Maasto-Seppo Oy

Koepaalutuspöytäkirja

Zateliitti	PM 20	5 t
-------------------	--------------	------------

Paalu	ZPT6	16+13
-------	------	-------

Lyöntitaso	noin +7,00
------------	------------

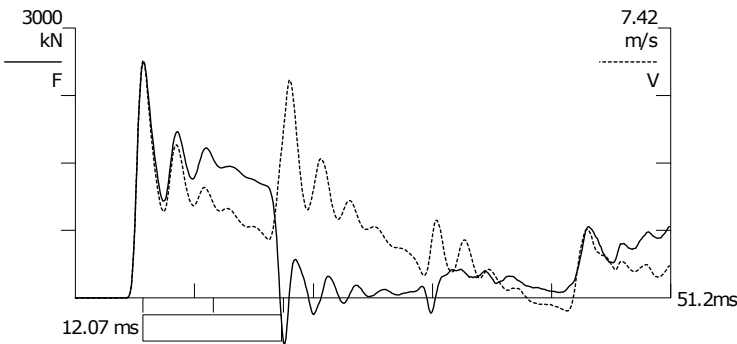
Tavoitetaso -20,00

[illegible]

Maasto-Seppo Oy

Koepaalutuspöytäkirja

[illegible]

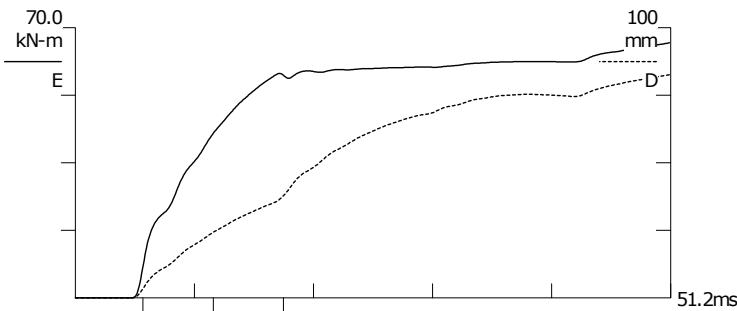
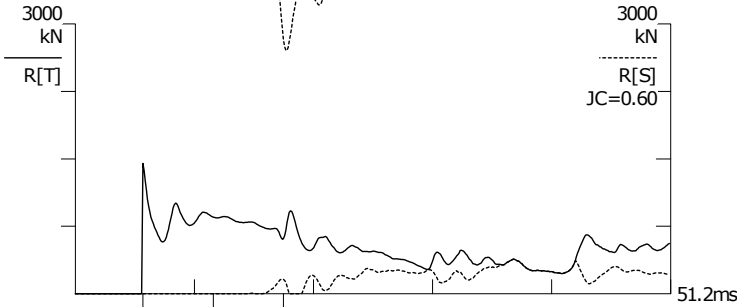
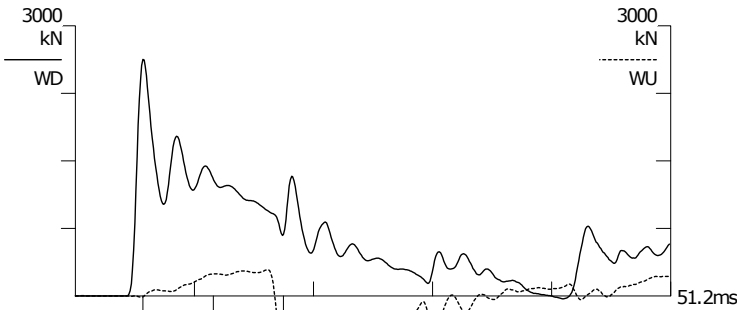


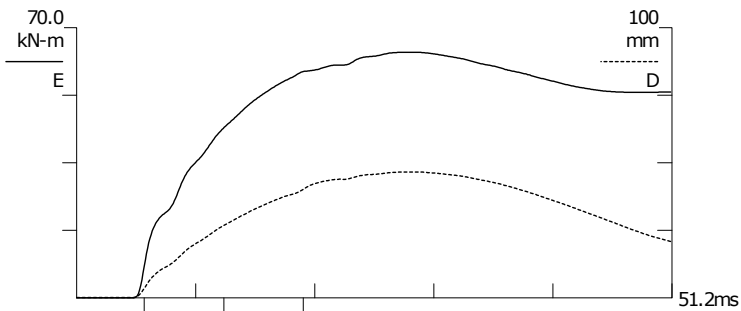
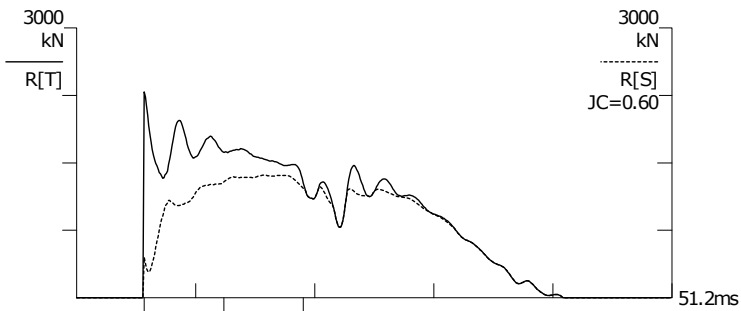
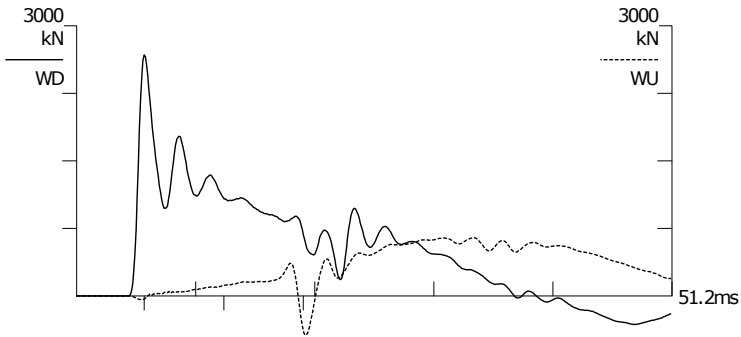
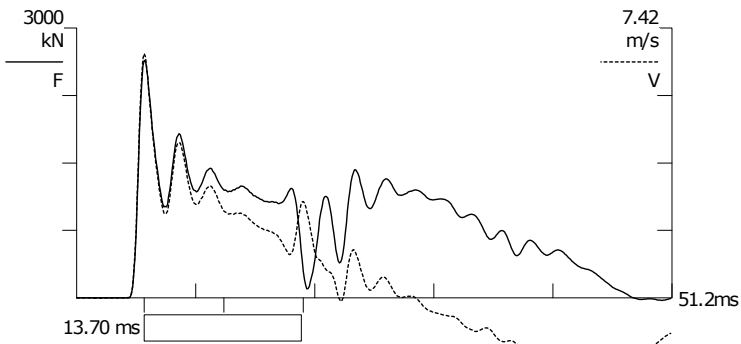
BN 36/778
3.3.2015 11:55:54
FMX 2621 kN
RMX 301 kN
CSX 265.7 MPa
CSI 281.9 MPa
TSX 63.2 MPa
EMX 68.9 kN-m
VMX 6.52 m/s
DMX 90 mm
FVP 1.0 []

LE 30.9 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 30.0 m

F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)





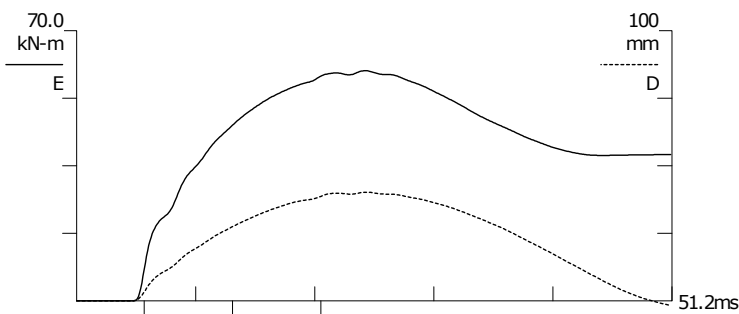
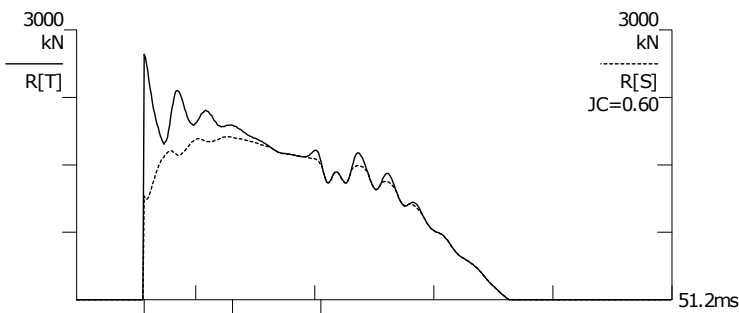
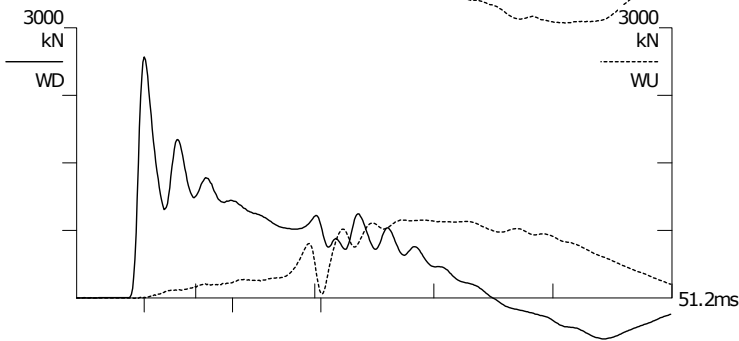
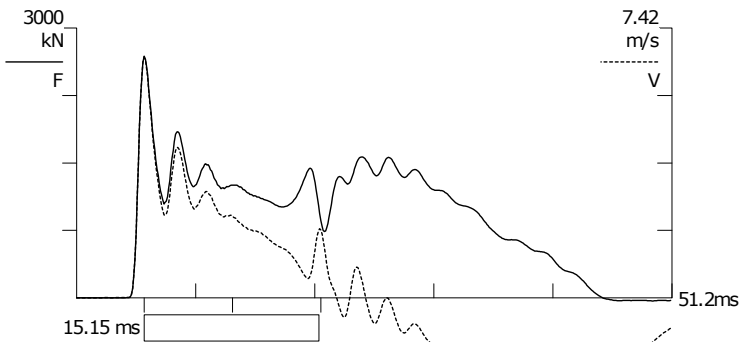
BN	63/749
3.3.2015	9:06:40
FMX	2641 kN
RMX	1363 kN
CSX	267.8 MPa
CSI	297.4 MPa
TSX	33.5 MPa
EMX	63.7 kN-m
VMX	6.72 m/s
DMX	47 mm
FVP	1.0 []
LE	35.0 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
LP	34.0 m
F1234	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
F3:	[J372] 90.6 (1)
F4:	[6476] 95.3 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

BN 6/1886
3.3.2015 10:34:56
FMX 2687 kN
RMX 1814 kN
CSX 272.4 MPa
CSI 296.3 MPa
TSX 58.6 MPa
EMX 59.7 kN-m
VMX 6.61 m/s
DMX 40 mm
FVP 1.0 []

LE 38.8 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 38.0 m

F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

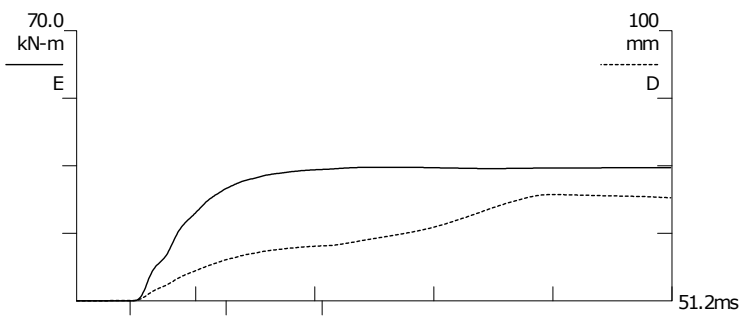
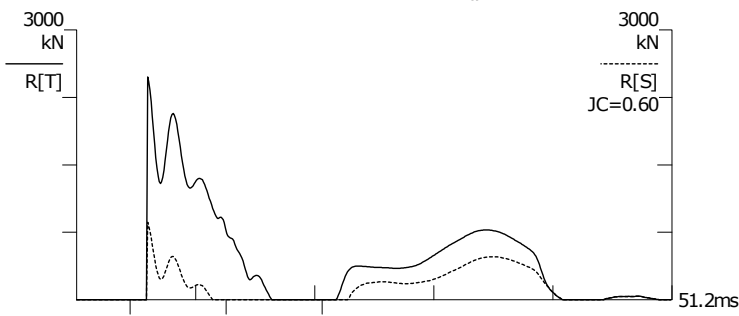
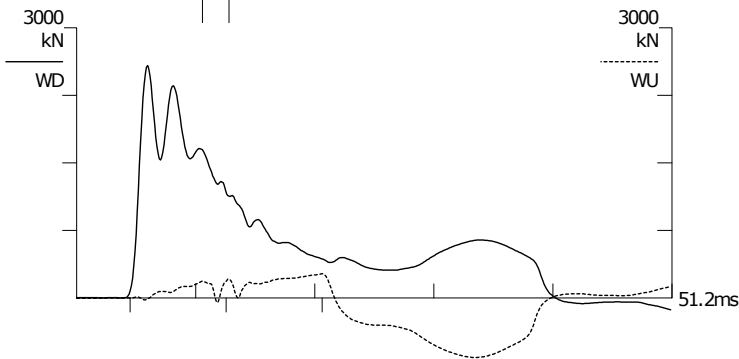
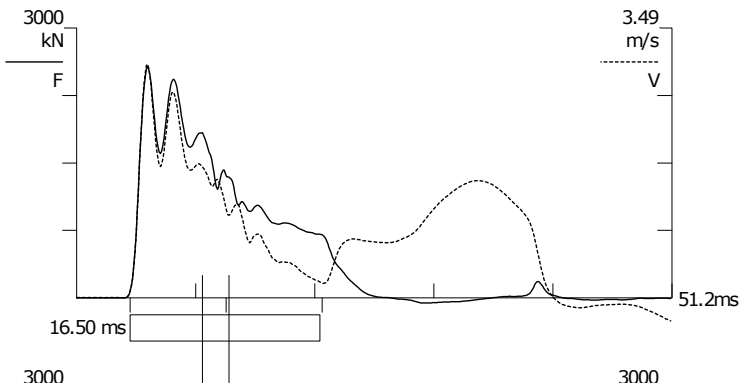


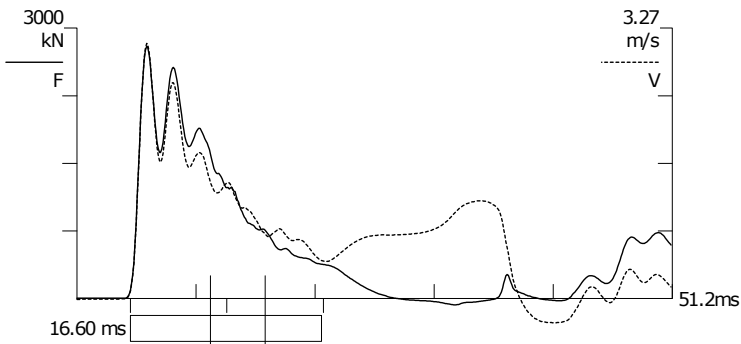
BN 29/714
3.3.2015 16:50:12
FMX 2568 kN
RMX 864 kN
CSX 28.5 MPa
CSI 30.6 MPa
TSX 3.9 MPa
EMX 35.3 kN-m
VMX 3.02 m/s
DMX 39 mm
FVP 1.0 []

LE 31.0 m
AR 900.00 cm^2
EM 35849 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3750.0 m/s
EA/C 860 kN-s/m
LP 30.0 m

F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



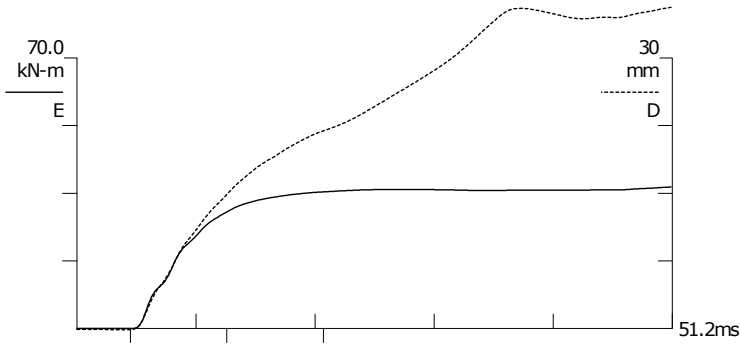
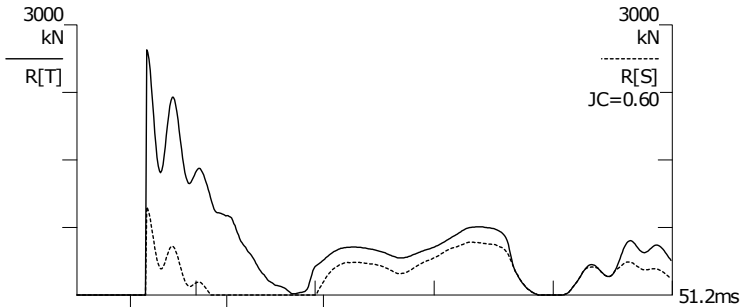
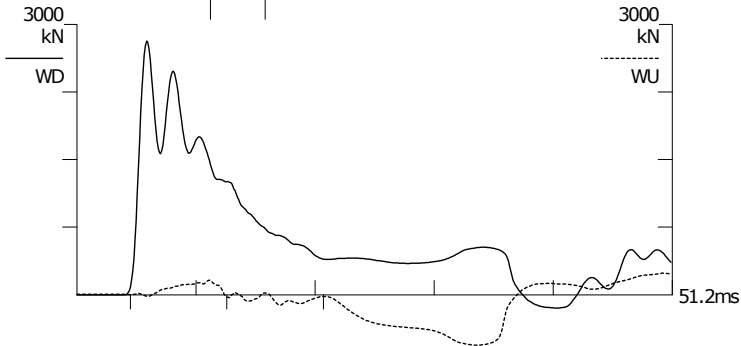


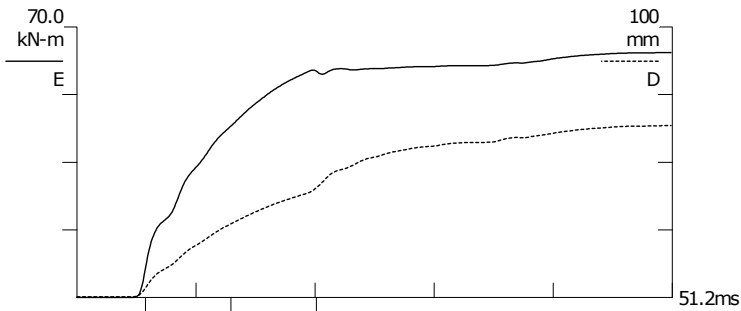
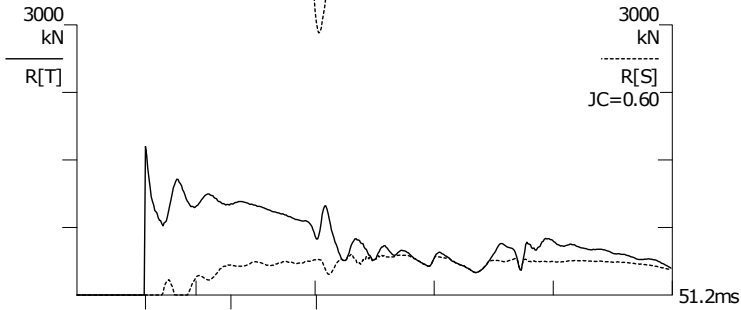
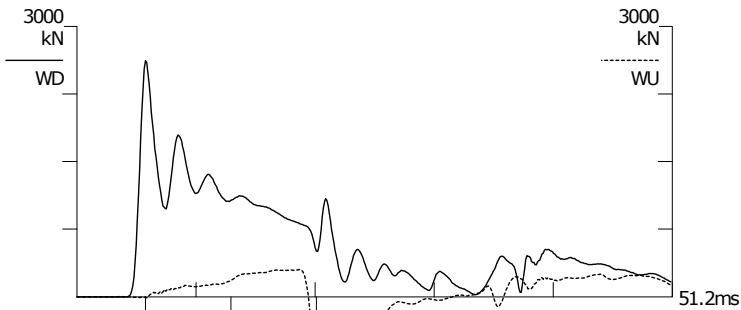
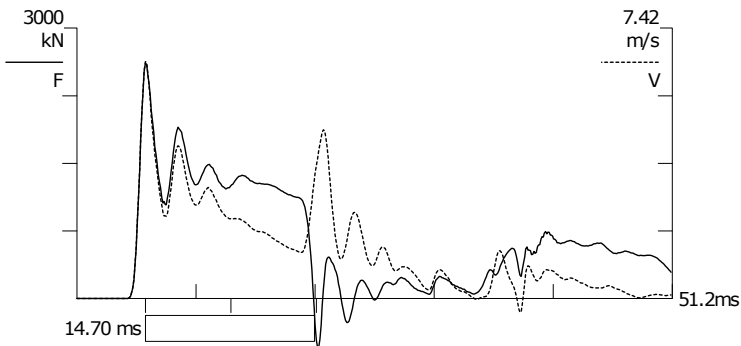
BN 40/833
3.3.2015 16:23:45
FMX 2800 kN
RMX 977 kN
CSX 31.1 MPa
CSI 33.2 MPa
TSX 2.4 MPa
EMX 36.9 kN-m
VMX 3.08 m/s
DMX 36 mm
FVP 1.0 []

LE 27.5 m
AR 900.00 cm^2
EM 40789 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4000.0 m/s
EA/C 918 kN-s/m
LP 35.0 m

F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



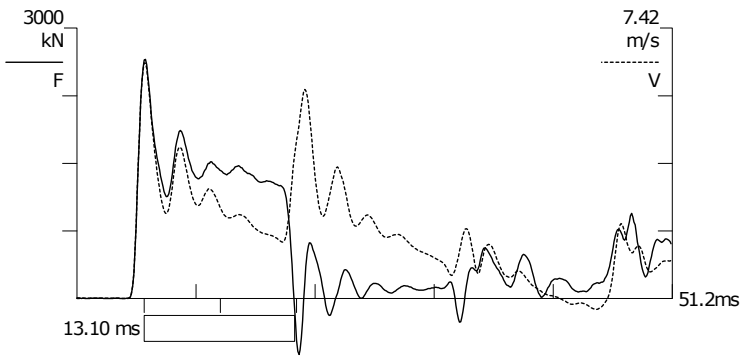


BN 19/816
2.3.2015 12:09:58
FMX 2614 kN
RMX 454 kN
CSX 265.1 MPa
CSI 292.3 MPa
TSX 59.6 MPa
EMX 63.4 kN-m
VMX 6.50 m/s
DMX 64 mm
FVP 1.0 []

LE 37.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 37.0 m

F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [J601] 90 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

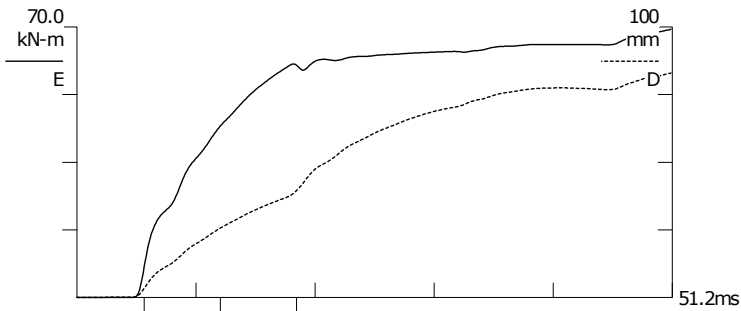
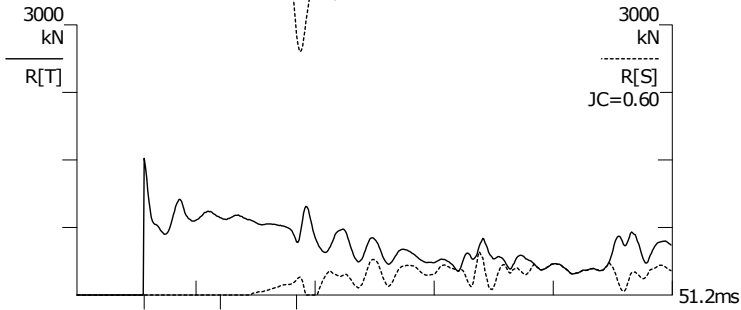
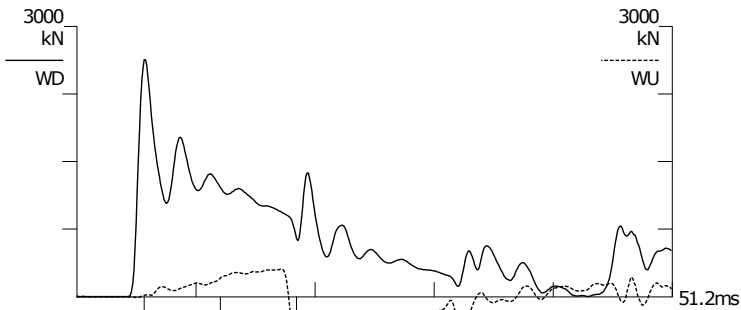


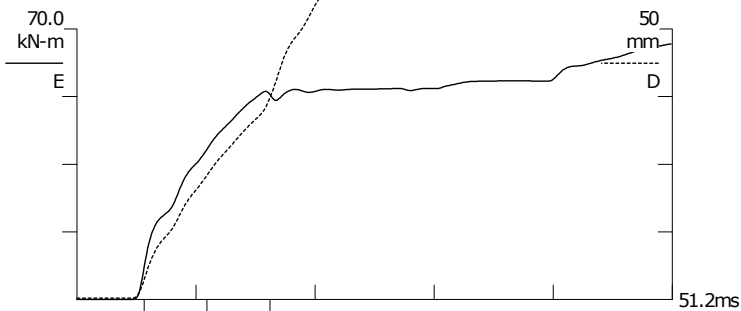
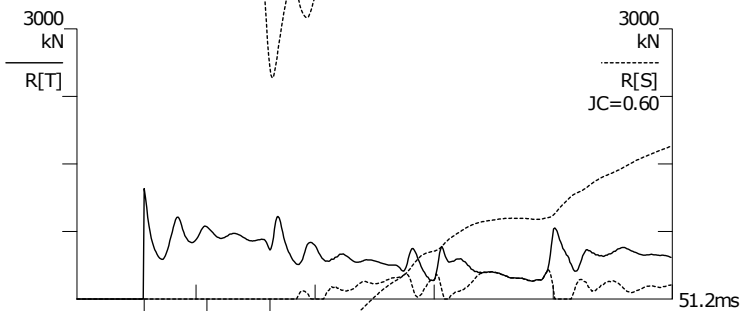
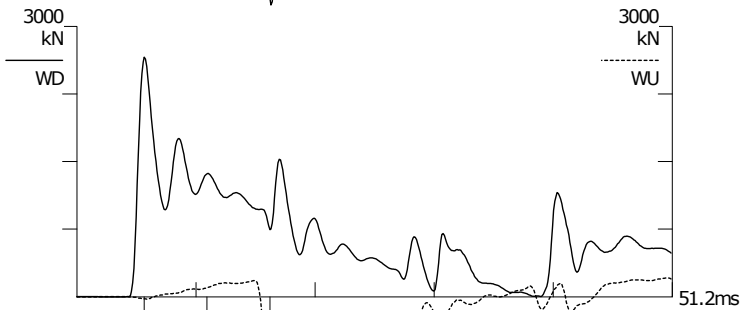
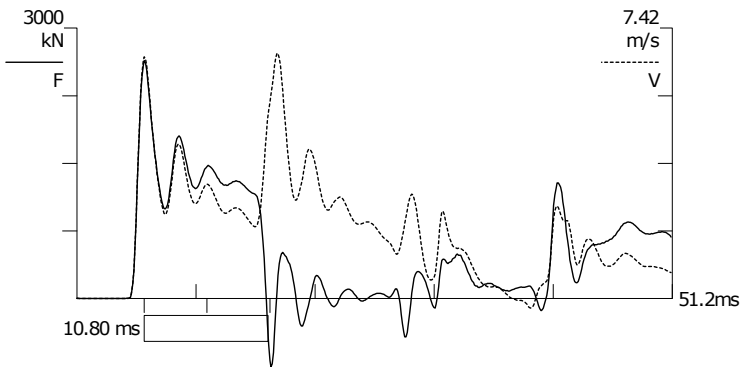
BN 1/729
2.3.2015 13:53:08
FMX 2654 kN
RMX 480 kN
CSX 269.1 MPa
CSI 278.1 MPa
TSX 68.3 MPa
EMX 74.2 kN-m
VMX 6.46 m/s
DMX 94 mm
FVP 1.0 []

LE 33.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 34.0 m

F34 A12

F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [J601] 90 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)





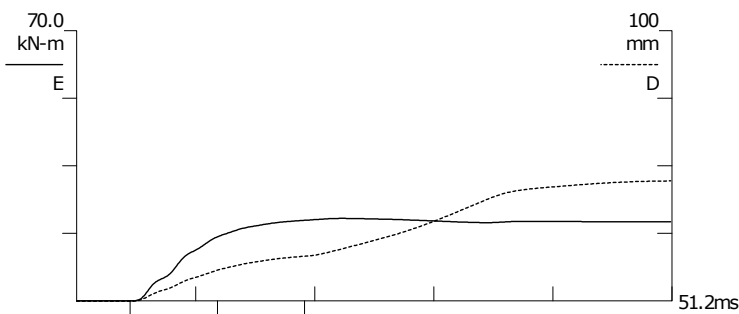
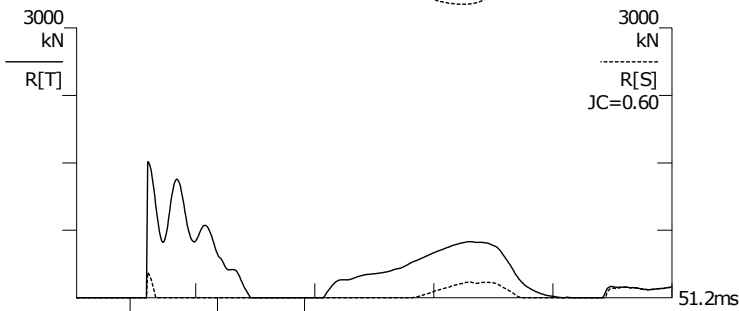
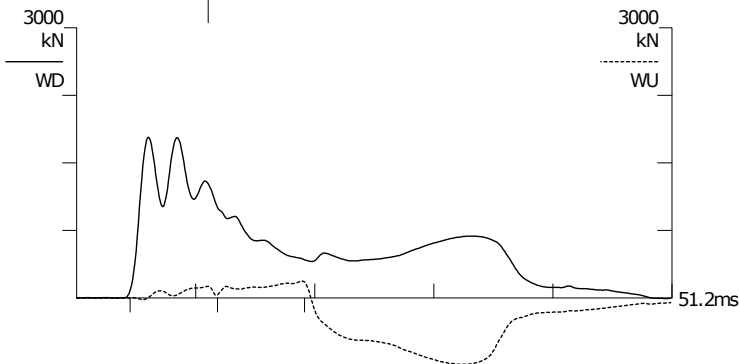
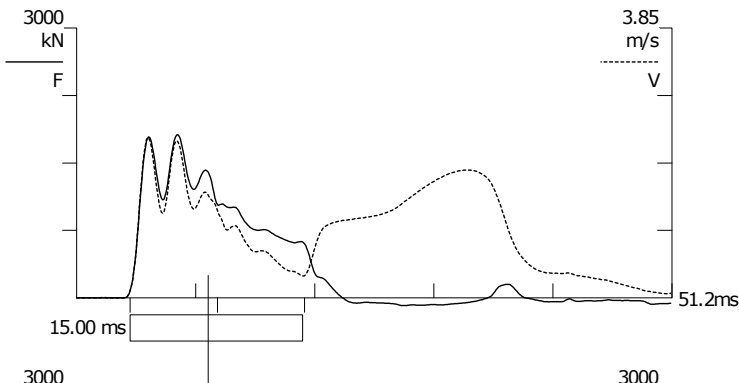
BN	2/501
	2.3.2015 15:22:46
FMX	2638 kN
RMX	303 kN
CSX	267.5 MPa
CSI	295.2 MPa
TSX	81.0 MPa
EMX	68.9 kN-m
VMX	6.73 m/s
DMX	108 mm
FVP	1.0 []
LE	27.6 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
LP	27.0 m
F1234	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
F3:	[J372] 90.6 (1)
F4:	[J601] 90 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

BN 10/588
2.3.2015 17:30:56
FMX 1814 kN
RMX 283 kN
CSX 20.2 MPa
CSI 22.6 MPa
TSX 3.7 MPa
EMX 21.4 kN-m
VMX 2.28 m/s
DMX 46 mm
FVP 1.0 []

LE 27.5 m
AR 900.00 cm^2
EM 29470 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3400.0 m/s
EA/C 780 kN-s/m
LP 27.0 m

F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

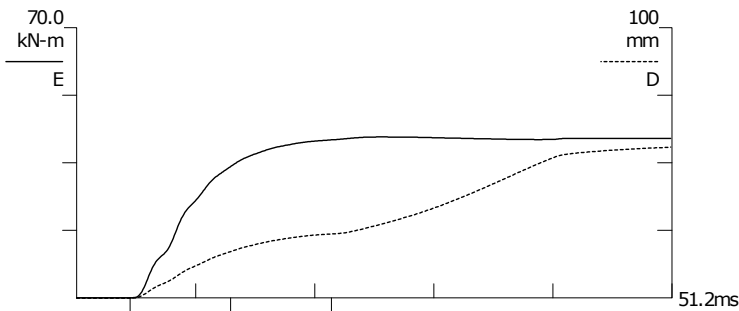
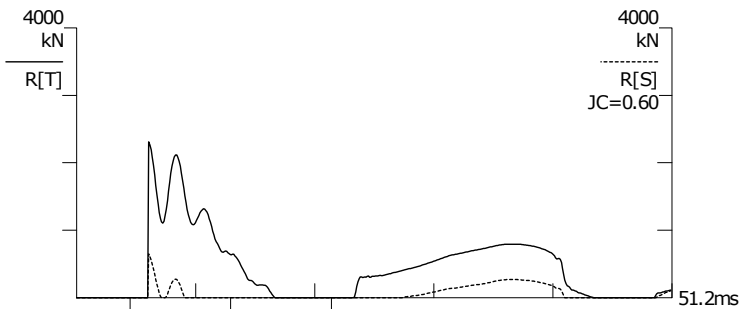
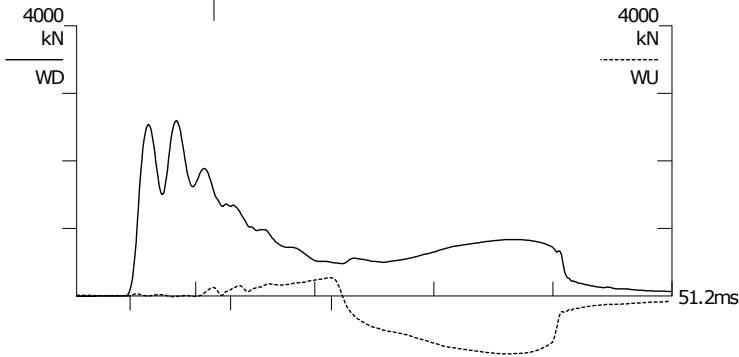
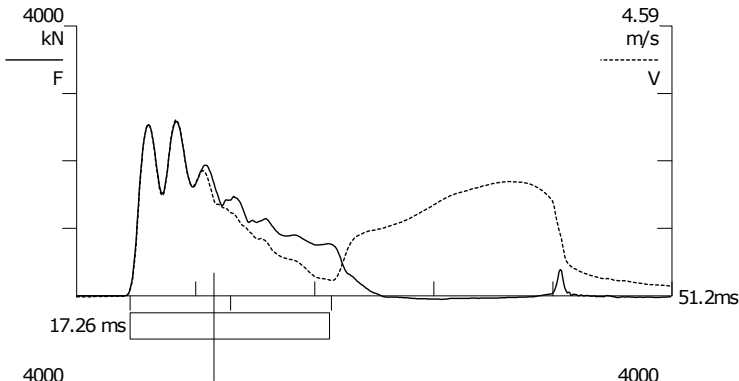


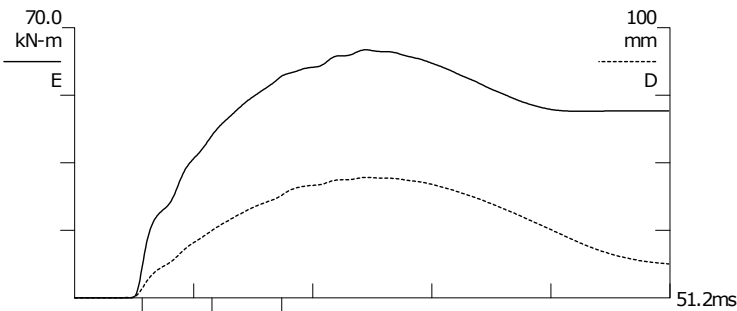
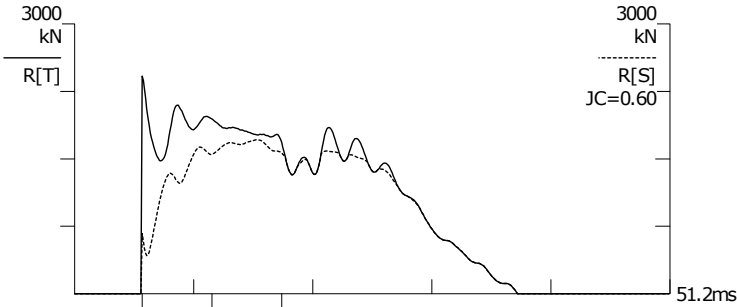
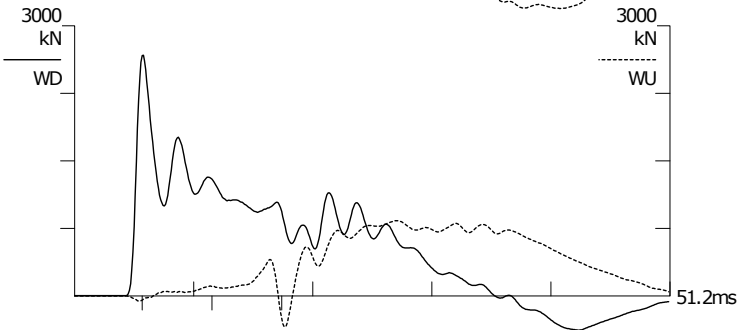
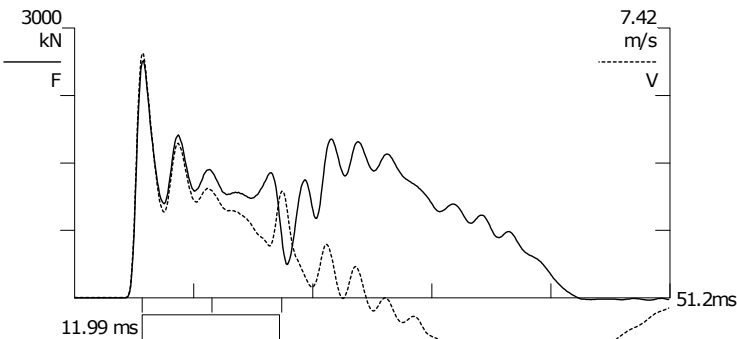
BN 11/1038
2.3.2015 17:08:33
FMX 2588 kN
RMX 654 kN
CSX 28.8 MPa
CSI 33.2 MPa
TSX 4.2 MPa
EMX 41.7 kN-m
VMX 2.99 m/s
DMX 59 mm
FVP 1.0 []

LE 32.8 m
AR 900.00 cm^2
EM 36812 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3800.0 m/s
EA/C 872 kN-s/m
LP 32.0 m

F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



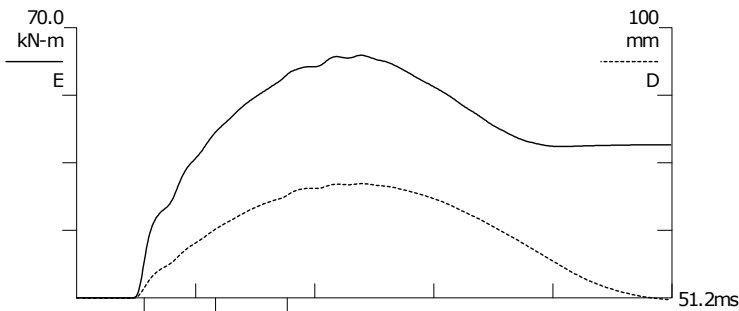
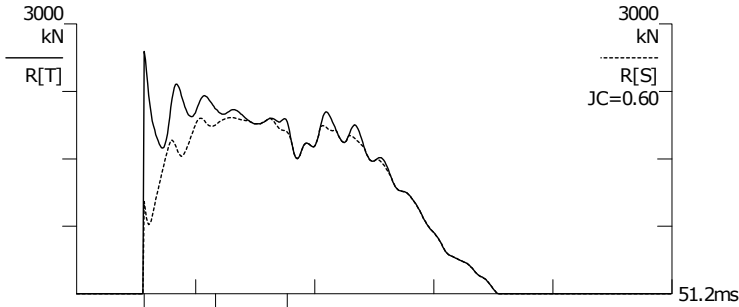
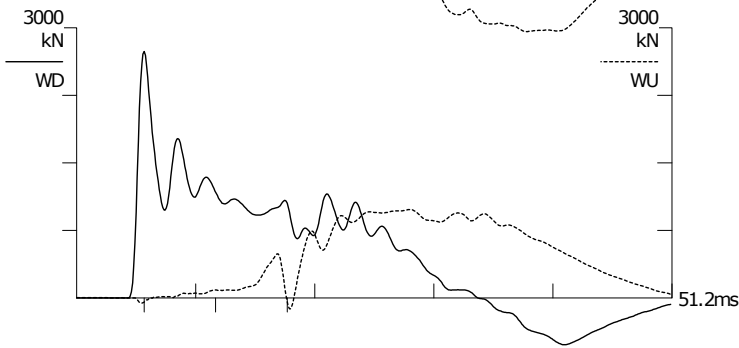
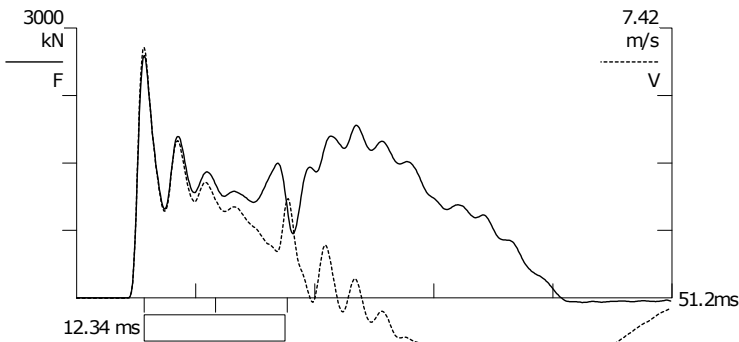


BN 84/828
4.3.2015 9:23:47
FMX 2635 kN
RMX 1711 kN
CSX 267.2 MPa
CSI 284.1 MPa
TSX 46.9 MPa
EMX 64.3 kN-m
VMX 6.72 m/s
DMX 45 mm
FVP 1.0 []

LE 30.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 27.0 m

F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

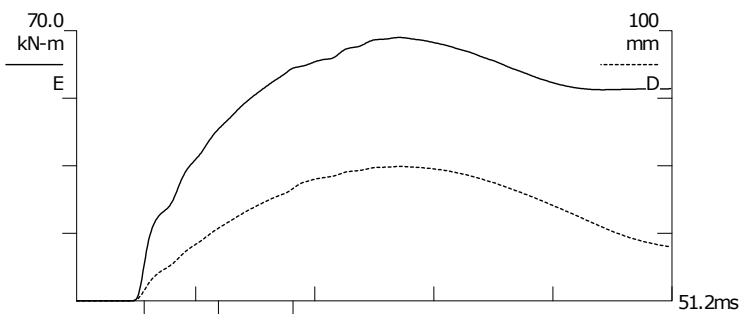
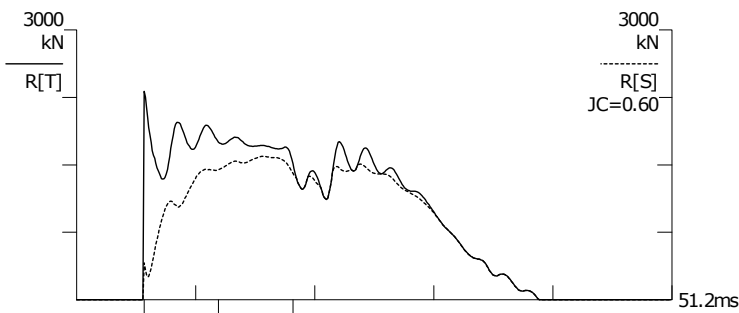
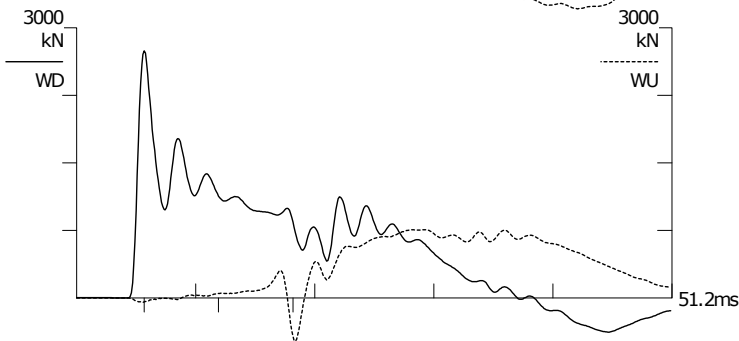
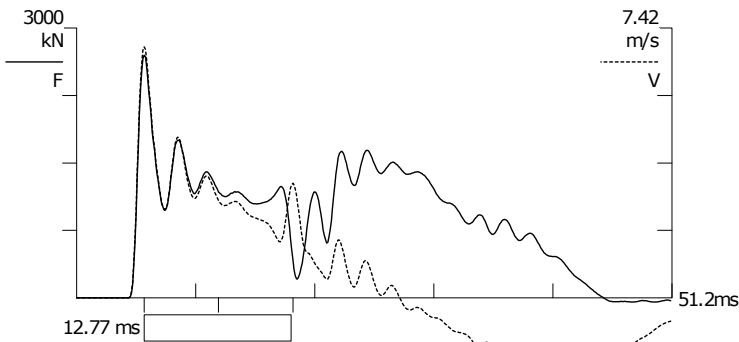


BN 227/1094
4.3.2015 10:57:35
FMX 2692 kN
RMX 1958 kN
CSX 272.9 MPa
CSI 286.2 MPa
TSX 63.4 MPa
EMX 62.9 kN-m
VMX 6.88 m/s
DMX 42 mm
FVP 1.0 []

LE 31.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 25.0 m

F1234 A2

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

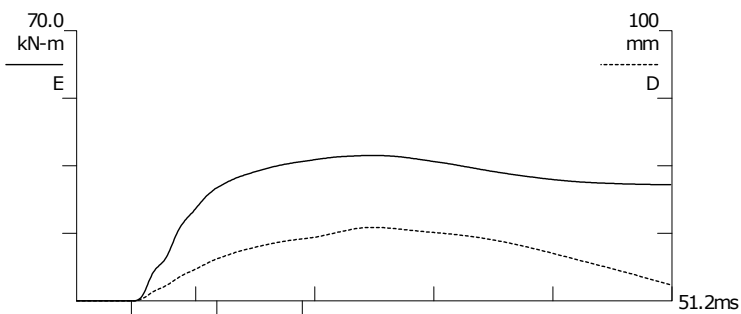
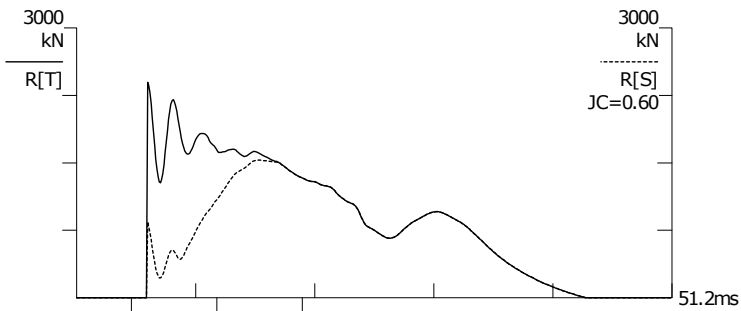
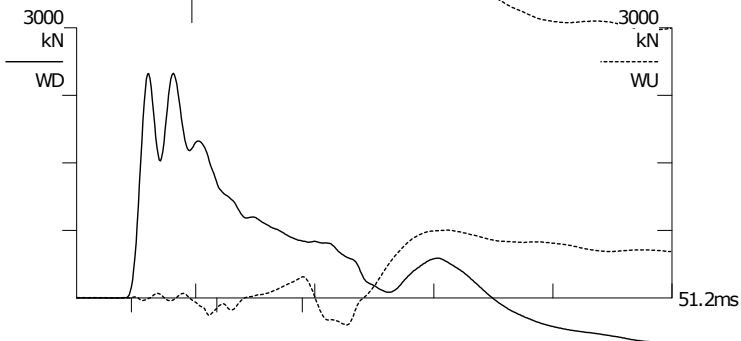
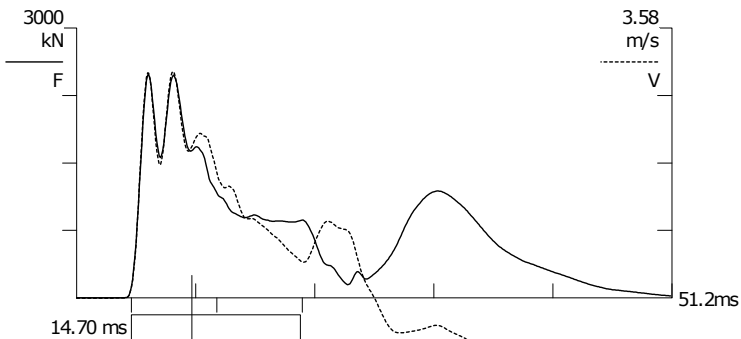


BN 1/848
4.3.2015 13:05:42
FMX 2699 kN
RMX 1595 kN
CSX 273.7 MPa
CSI 313.6 MPa
TSX 49.9 MPa
EMX 68.3 kN-m
VMX 6.90 m/s
DMX 50 mm
FVP 1.0 []

LE 32.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m
LP 25.0 m

F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

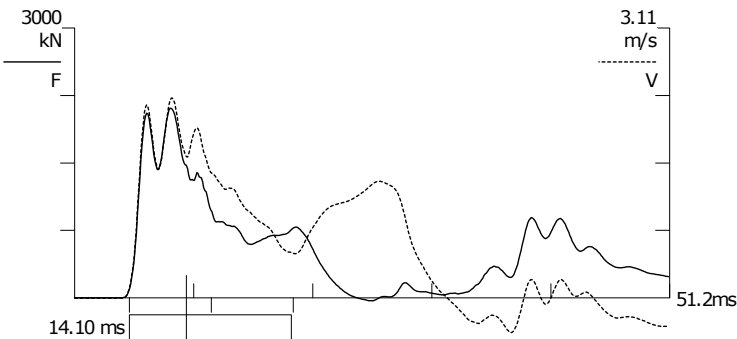


BN 248/721
4.3.2015 14:33:49
FMX 2485 kN
RMX 1530 kN
CSX 27.6 MPa
CSI 29.4 MPa
TSX 3.0 MPa
EMX 37.7 kN-m
VMX 3.01 m/s
DMX 27 mm
FVP 1.0 []

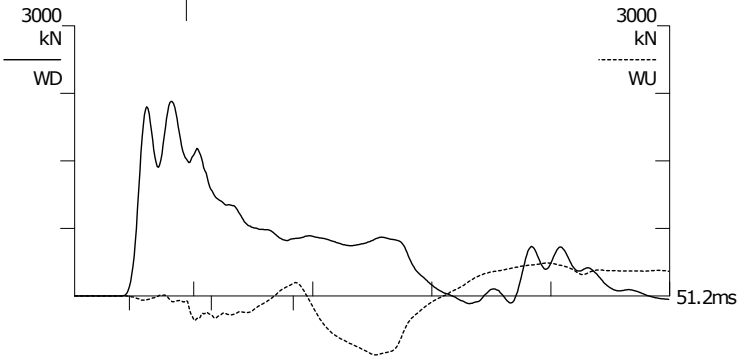
LE 25.9 m
AR 900.00 cm^2
EM 33963 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3650.0 m/s
EA/C 837 kN-s/m
LP 24.0 m

F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



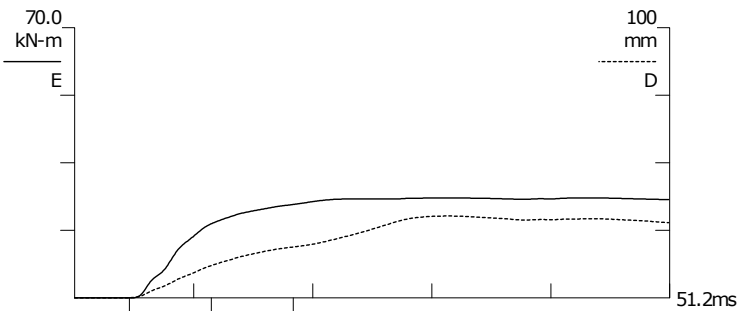
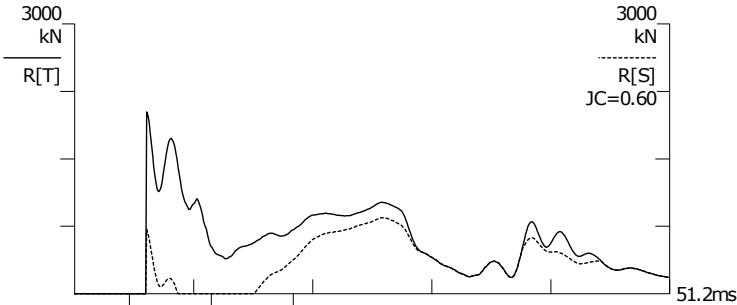
BN 1/356
4.3.2015 15:02:45
FMX 2107 kN
RMX 847 kN
CSX 23.4 MPa
CSI 28.8 MPa
TSX 1.2 MPa
EMX 25.9 kN-m
VMX 2.31 m/s
DMX 30 mm
FVP 1.0 []

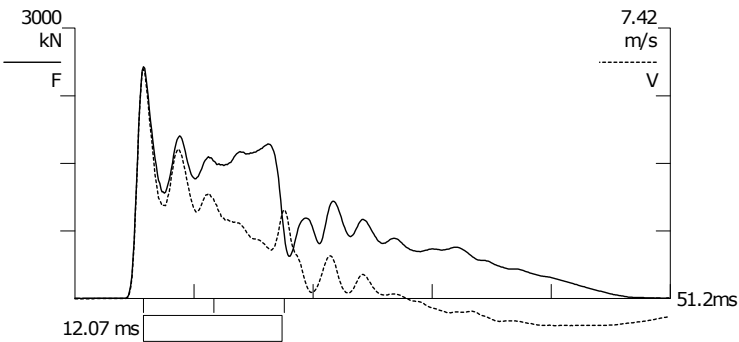


LE 24.0 m
AR 900.00 cm^2
EM 44969 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4200.0 m/s
EA/C 964 kN-s/m
LP 24.0 m

F12 A12

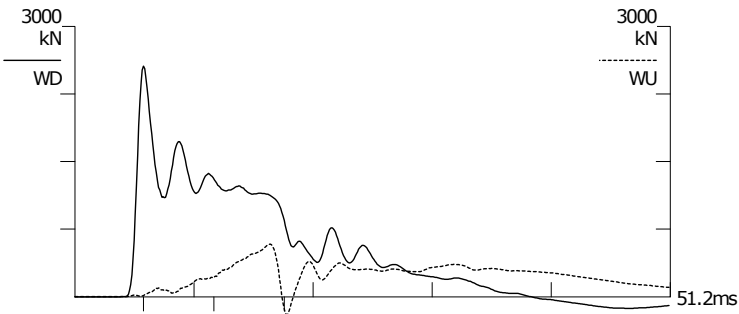
F1: [J583] 92 (1.05)
F2: [J931] 91.2 (1.05)
A1: [45900] 1160 g's/v (0.95)
A2: [45901] 1150 g's/v (0.95)





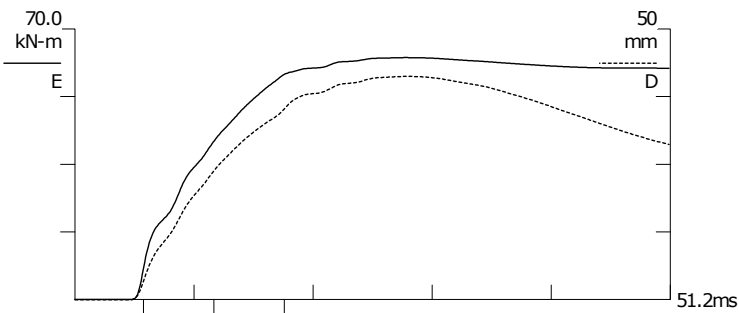
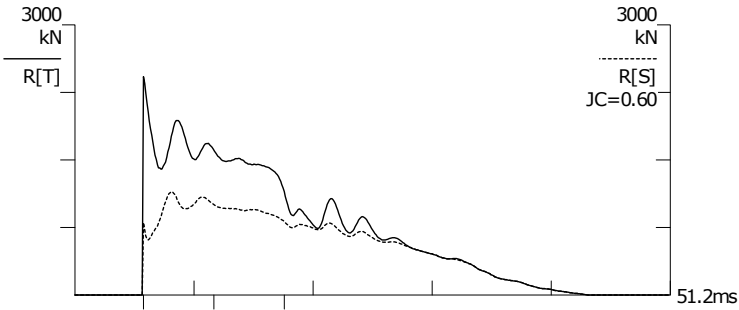
BN 35
4.3.2015 16:51:05
FMX 2573 kN
RMX 1148 kN
CSX 260.9 MPa
CSI 323.9 MPa
TSX 4.0 MPa
EMX 62.6 kN-m
VMX 6.30 m/s
DMX 41 mm
FVP 1.0 []

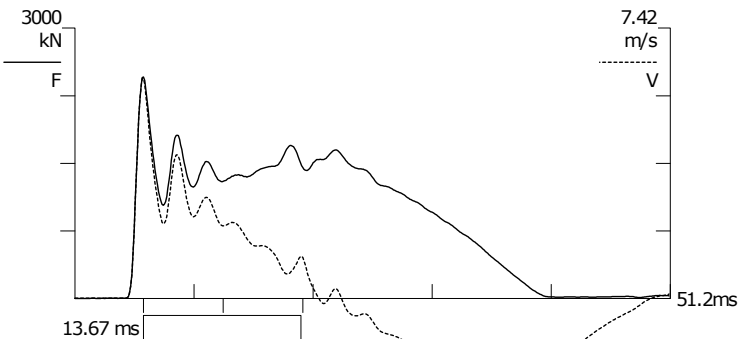
LE 30.9 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A1

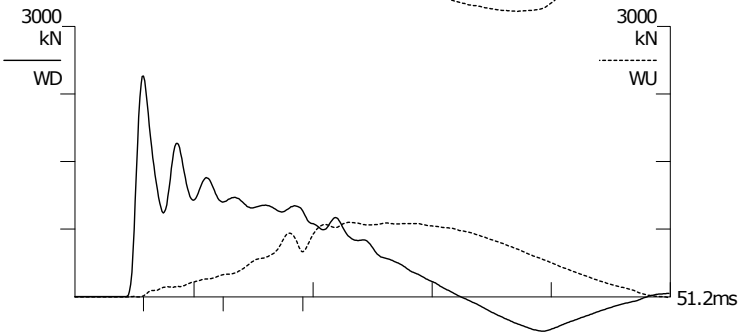
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)





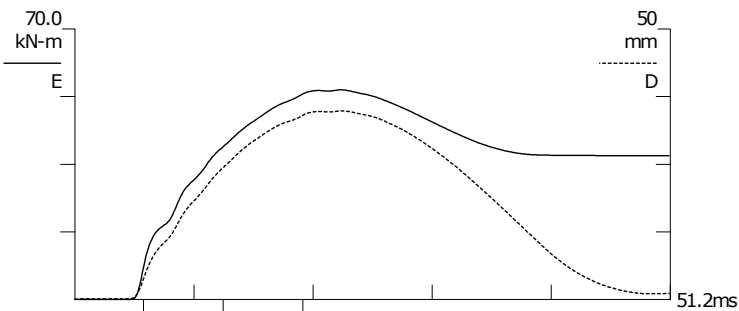
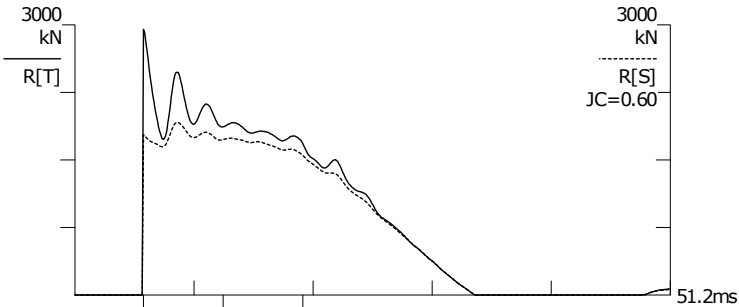
BN 14
4.3.2015 16:36:17
FMX 2459 kN
RMX 1917 kN
CSX 249.3 MPa
CSI 259.3 MPa
TSX 43.3 MPa
EMX 54.3 kN-m
VMX 6.04 m/s
DMX 35 mm
FVP 1.0 []

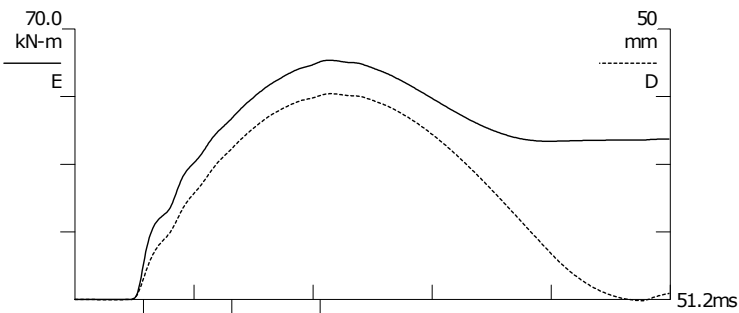
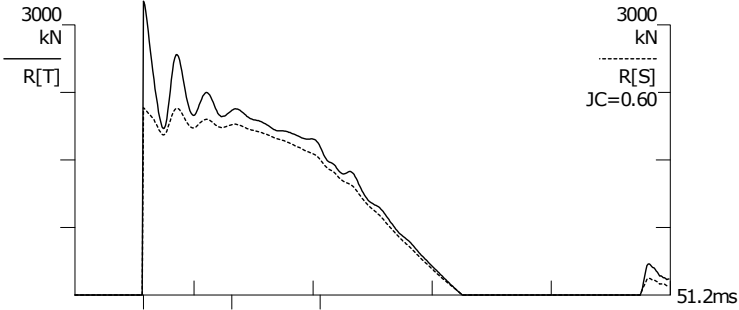
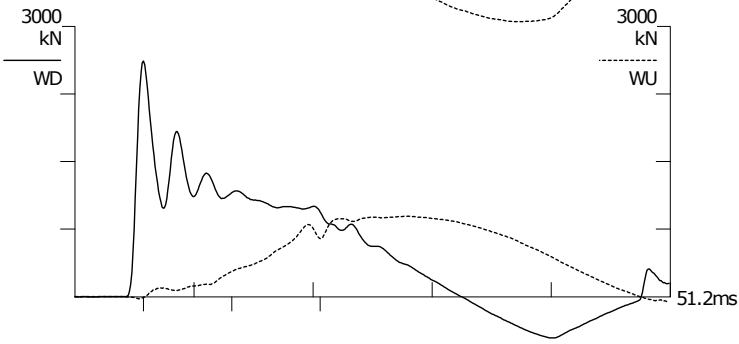
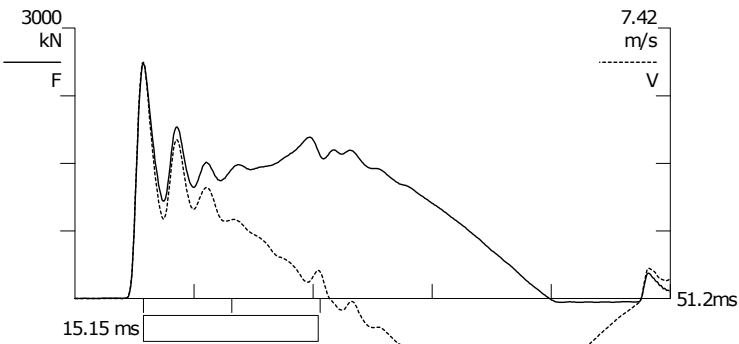
LE 35.0 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



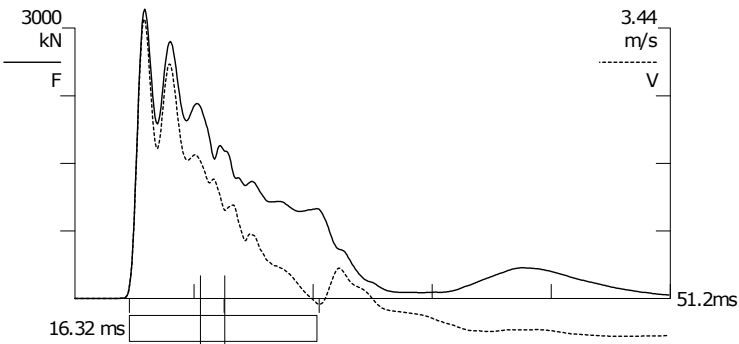
F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



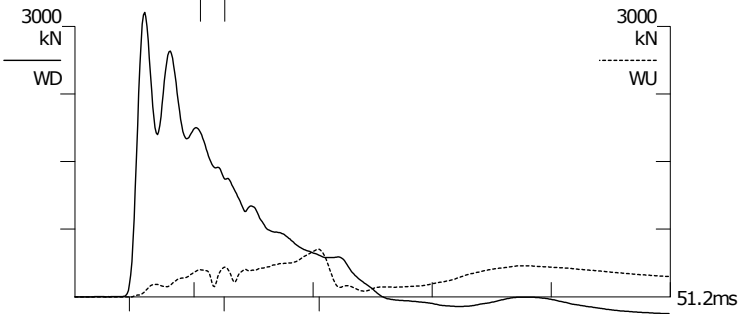


BN	21
	4.3.2015 16:16:35
FMX	2608 kN
RMX	2078 kN
CSX	264.5 MPa
CSI	285.2 MPa
TSX	60.9 MPa
EMX	61.9 kN-m
VMX	6.49 m/s
DMX	38 mm
FVP	1.0 []
LE	38.8 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
LP	0.3 m
F1234	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
F3:	[J372] 90.6 (1)
F4:	[6476] 95.3 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

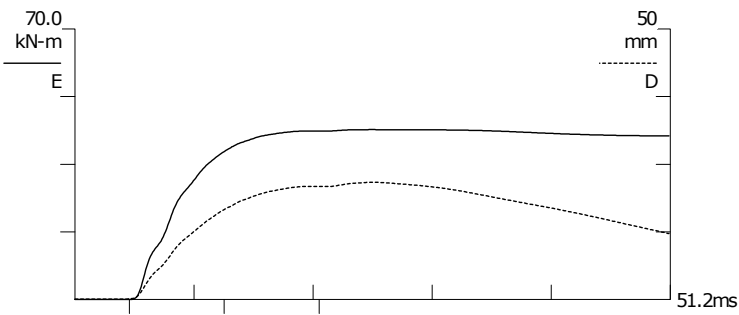
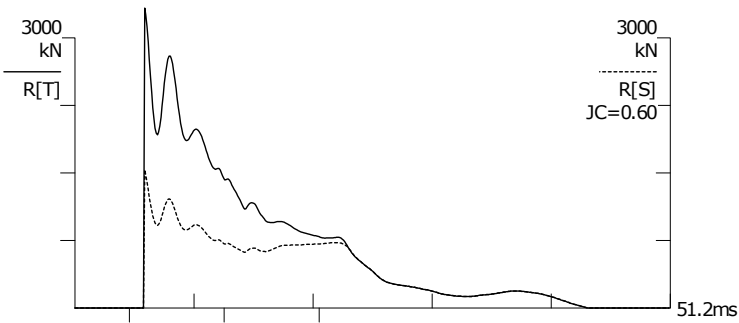


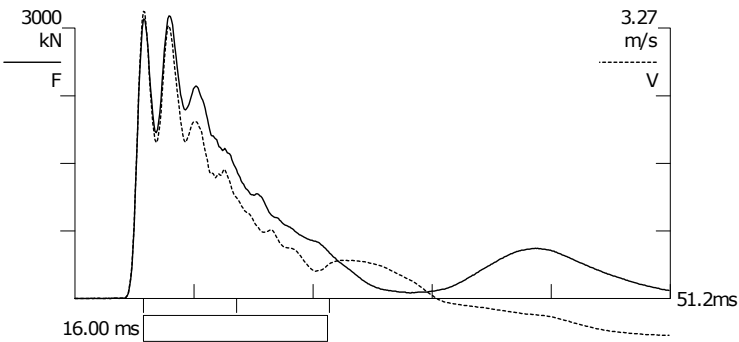
BN 15
4.3.2015 15:59:01
FMX 3212 kN
RMX 1537 kN
CSX 35.7 MPa
CSI 37.6 MPa
TSX 1.7 MPa
EMX 44.0 kN-m
VMX 3.56 m/s
DMX 22 mm
FVP 1.0 []

LE 31.0 m
AR 900.00 cm^2
EM 36812 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3800.0 m/s
EA/C 872 kN-s/m



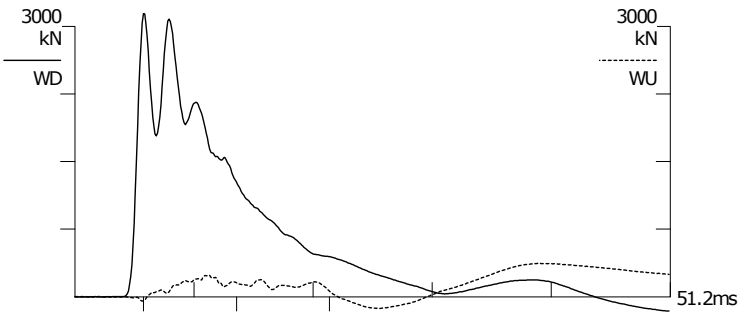
F12 A12
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



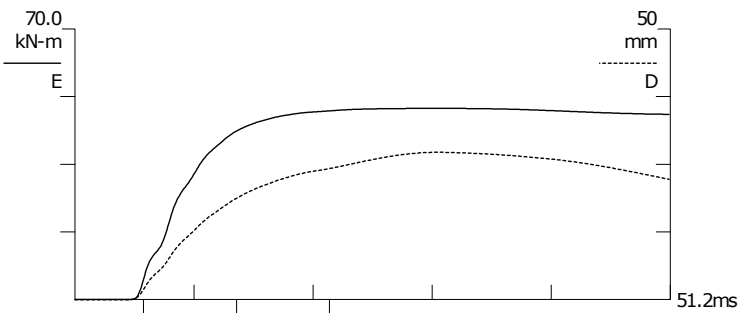
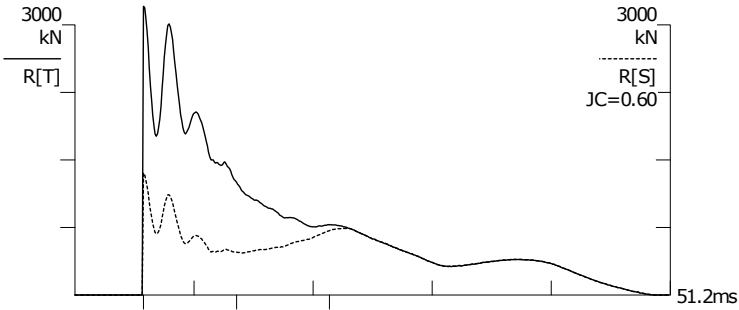


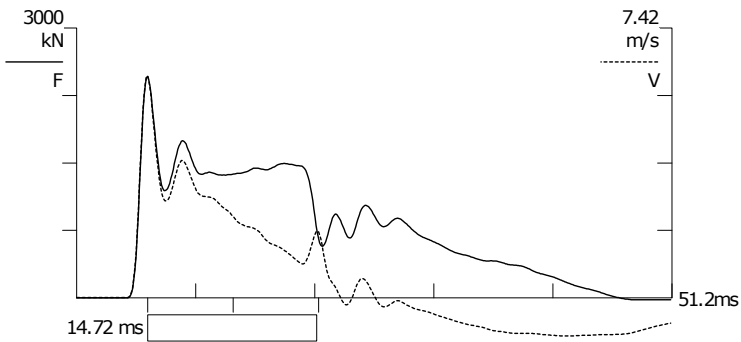
BN 5
4.3.2015 15:47:25
FMX 3138 kN
RMX 1356 kN
CSX 34.9 MPa
CSI 39.9 MPa
TSX 0.8 MPa
EMX 49.5 kN-m
VMX 3.47 m/s
DMX 27 mm
FVP 1.0 []

LE 29.5 m
AR 900.00 cm^2
EM 40789 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4000.0 m/s
EA/C 918 kN-s/m



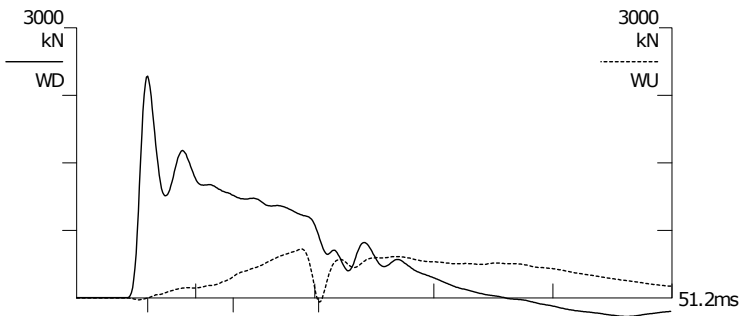
F12 A12
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)





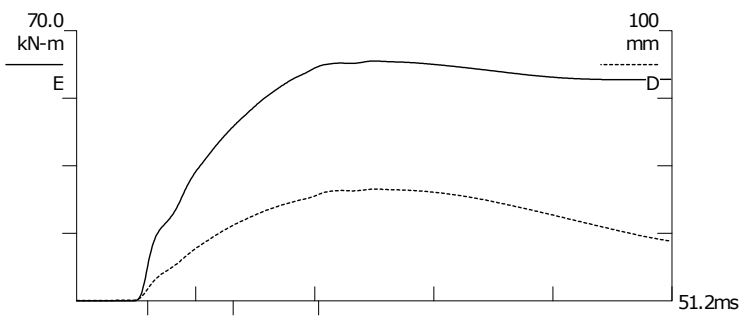
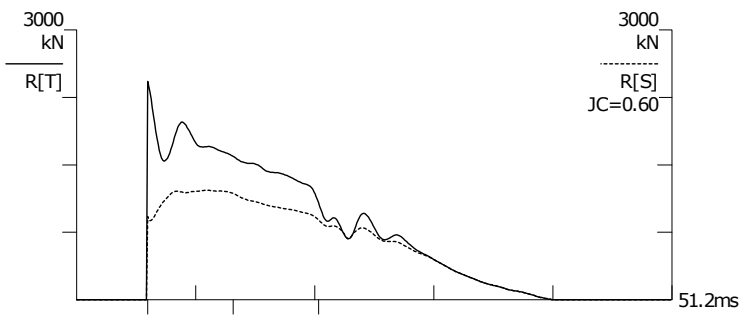
BN 14
3.3.2015 12:48:19
FMX 2462 kN
RMX 1217 kN
CSX 249.7 MPa
CSI 318.2 MPa
TSX 13.4 MPa
EMX 62.2 kN-m
VMX 6.10 m/s
DMX 41 mm
FVP 1.0 []

LE 37.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

Koepaalutus Zatelliitti

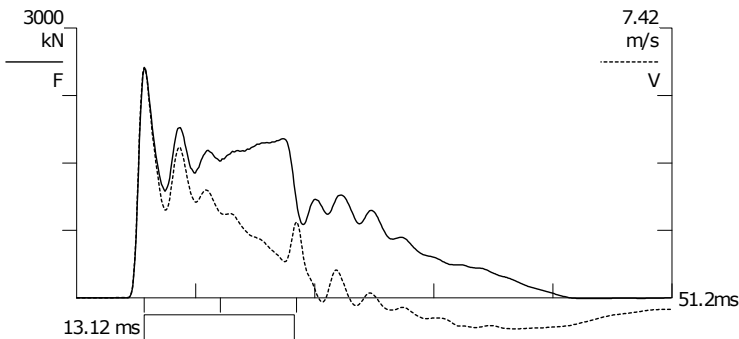
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®

Version 2009.098.053

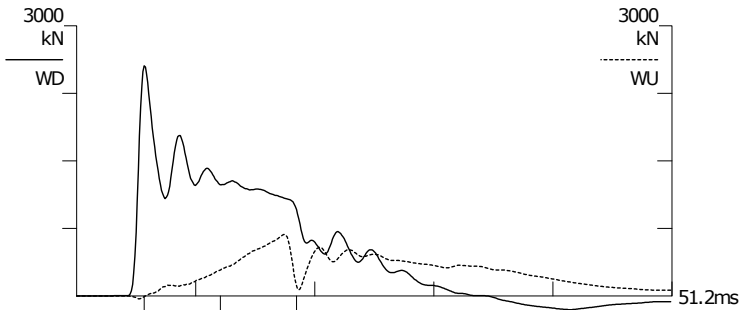
ZPT5 24h

Junttan HHK 5A



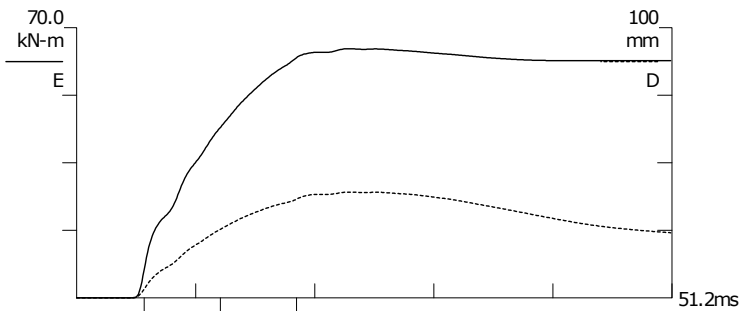
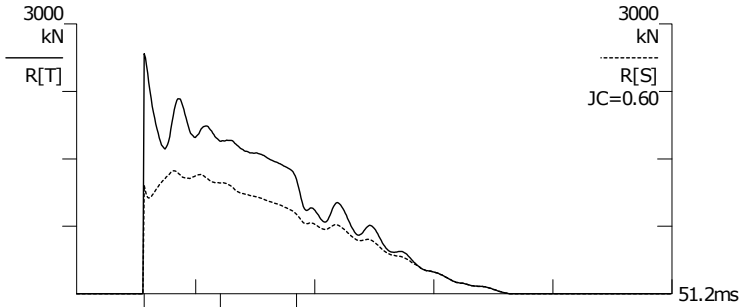
BN 16
3.3.2015 12:33:02
FMX 2549 kN
RMX 1366 kN
CSX 258.5 MPa
CSI 277.2 MPa
TSX 9.5 MPa
EMX 64.6 kN-m
VMX 6.34 m/s
DMX 39 mm
FVP 1.0 []

LE 33.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

Koepaalutus Zatelliitti

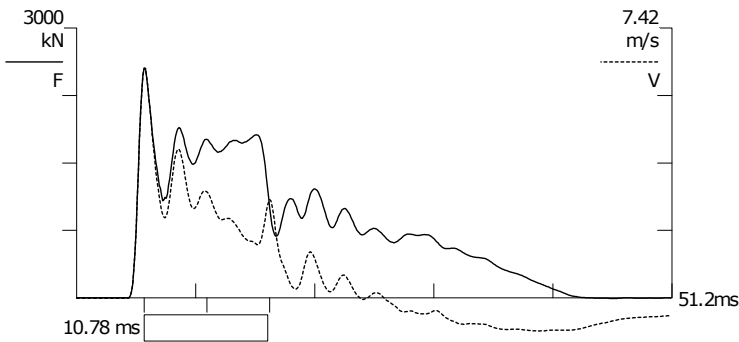
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®

Version 2009.098.053

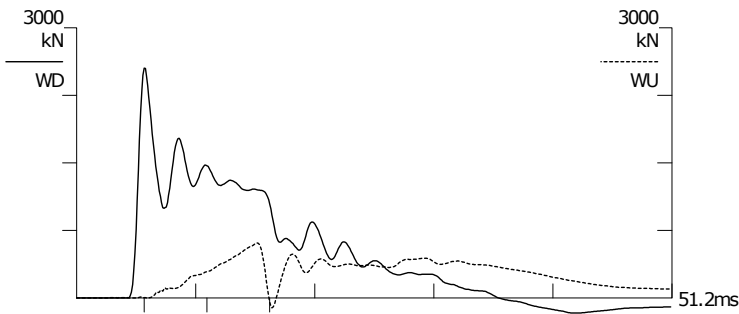
ZPT6 24h

Junttan HHK 5A



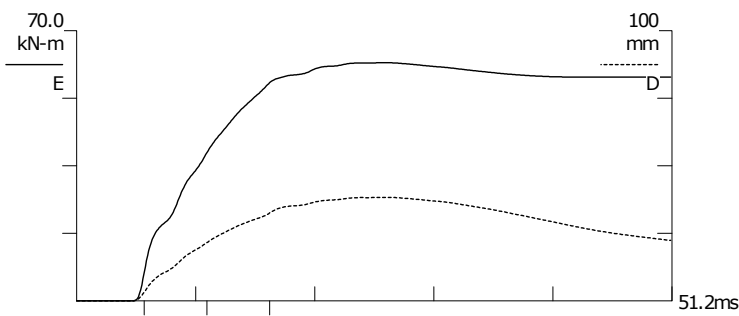
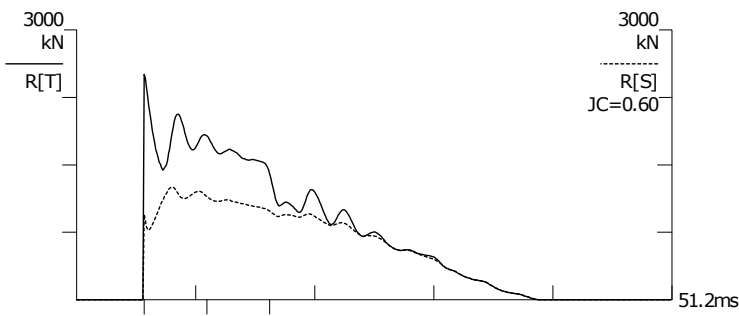
BN 18
3.3.2015 12:14:49
FMX 2555 kN
RMX 1253 kN
CSX 259.1 MPa
CSI 284.4 MPa
TSX 8.2 MPa
EMX 61.7 kN-m
VMX 6.31 m/s
DMX 38 mm
FVP 1.0 []

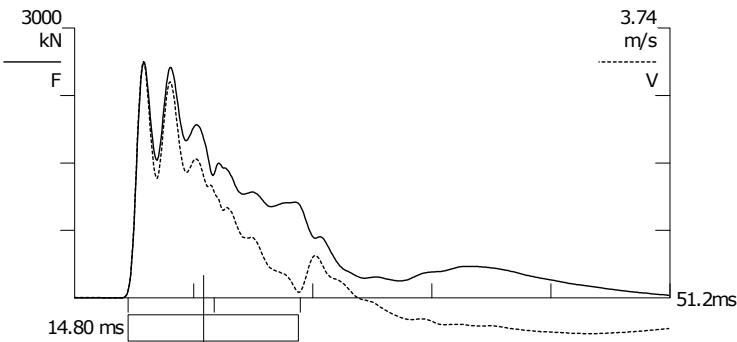
LE 27.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

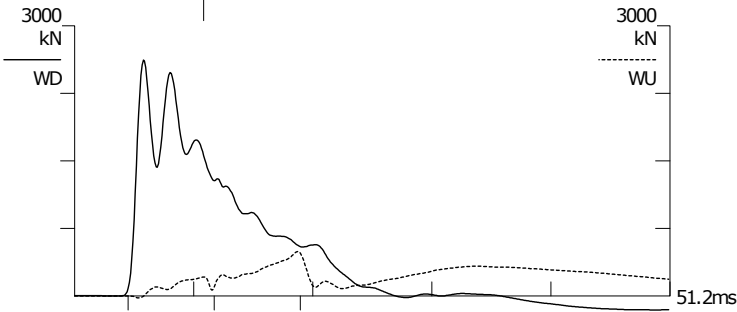
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)





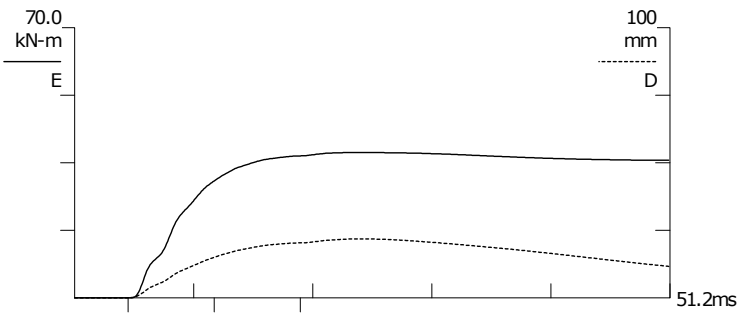
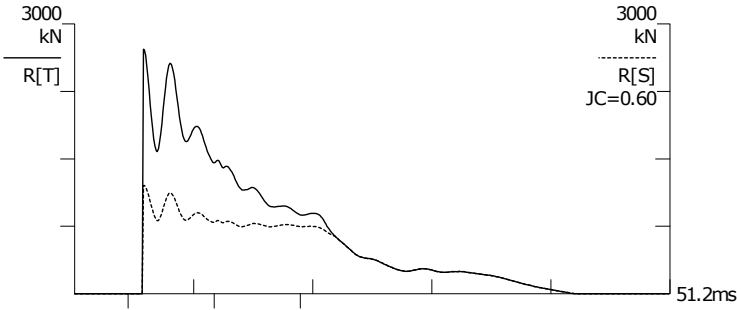
BN 7
3.3.2015 14:24:18
FMX 2618 kN
RMX 1203 kN
CSX 29.1 MPa
CSI 30.3 MPa
TSX 0.7 MPa
EMX 37.7 kN-m
VMX 3.27 m/s
DMX 22 mm
FVP 1.0 []

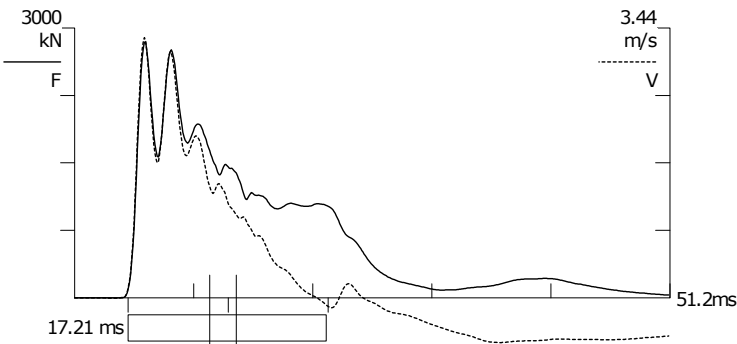
LE 27.5 m
AR 900.00 cm^2
EM 31229 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3500.0 m/s
EA/C 803 kN-s/m



F12 A12

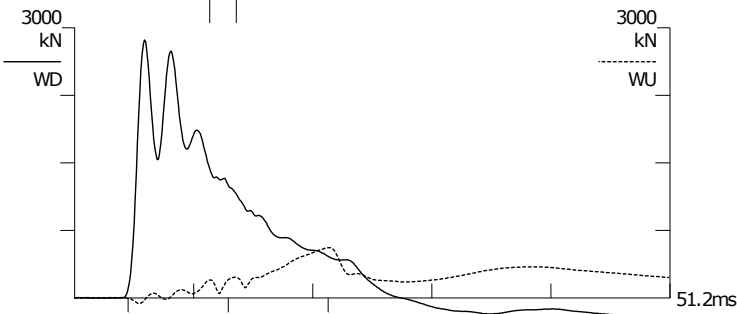
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



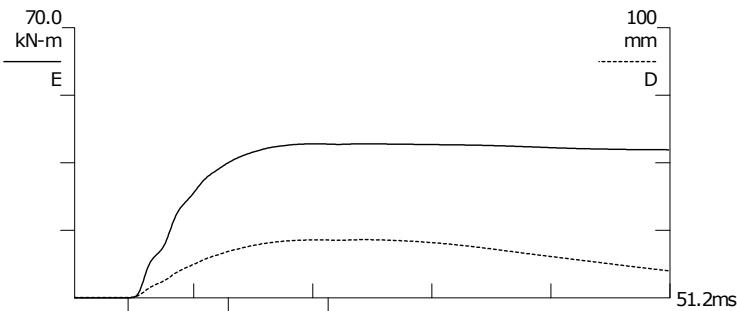
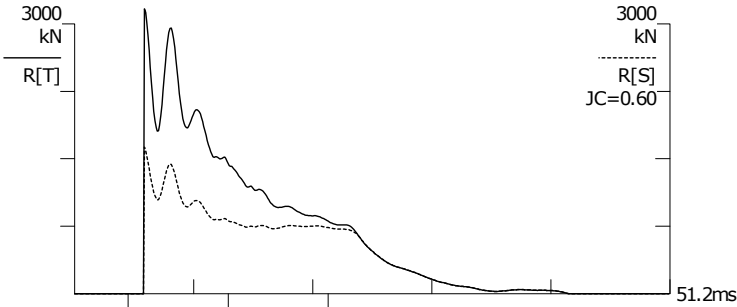


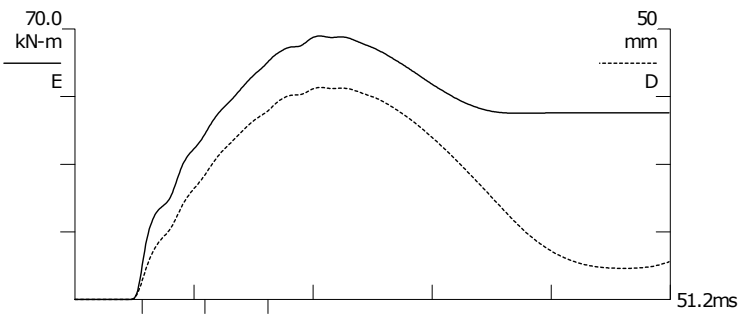
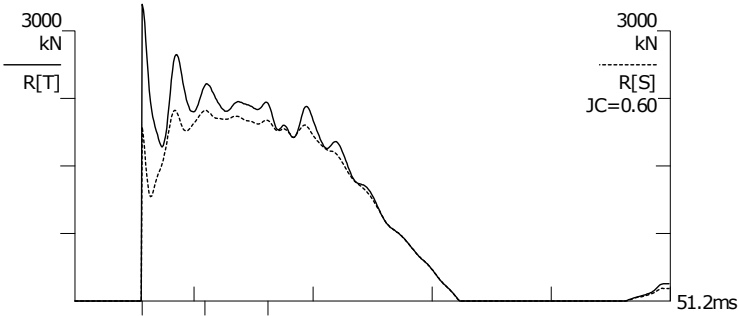
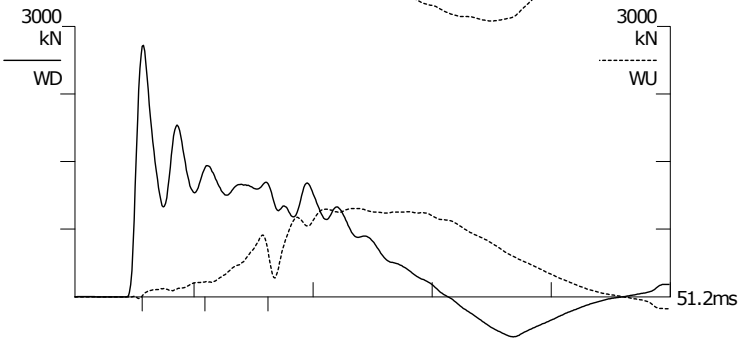
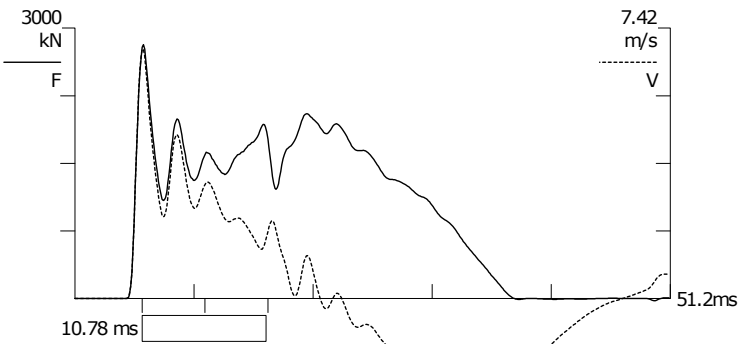
BN 14
3.3.2015 14:46:11
FMX 2842 kN
RMX 1629 kN
CSX 31.6 MPa
CSI 35.7 MPa
TSX 1.4 MPa
EMX 39.9 kN-m
VMX 3.32 m/s
DMX 22 mm
FVP 1.0 []

LE 32.7 m
AR 900.00 cm^2
EM 36812 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3800.0 m/s
EA/C 872 kN-s/m

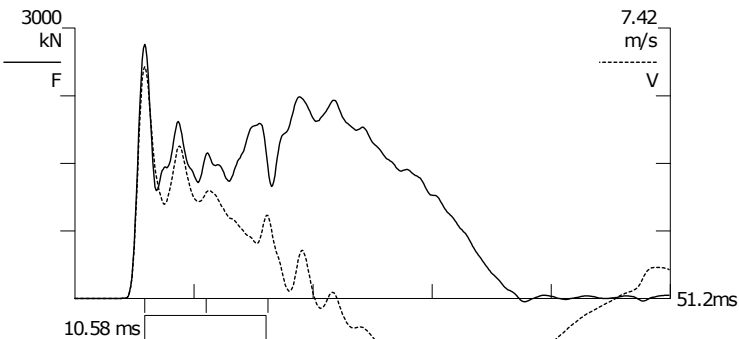


F12 A12
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



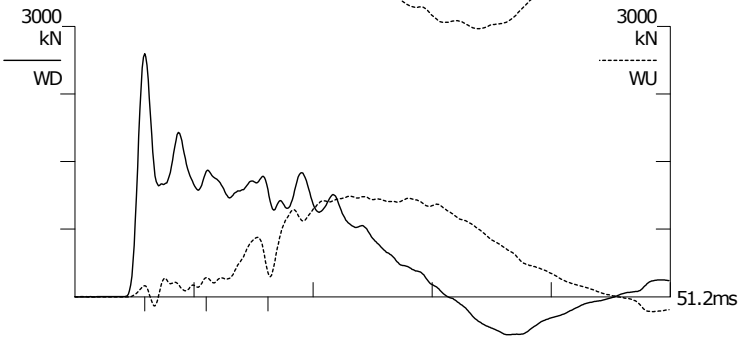


BN	9
	5.3.2015 11:02:54
FMX	2817 kN
RMX	2119 kN
CSX	285.7 MPa
CSI	298.2 MPa
TSX	48.2 MPa
EMX	68.2 kN-m
VMX	6.85 m/s
DMX	39 mm
FVP	1.0 []
LE	27.6 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
F12	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)



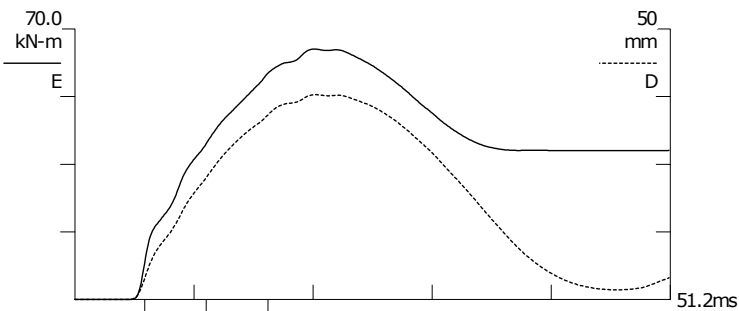
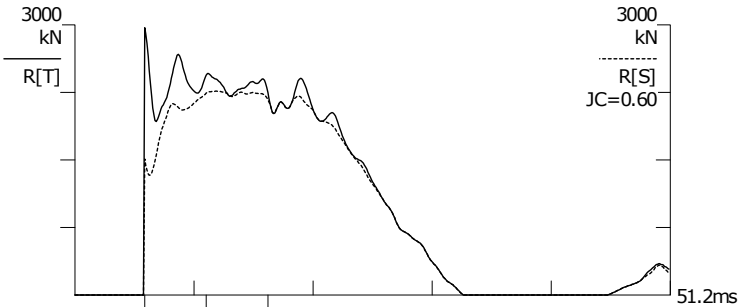
BN 9
5.3.2015 10:55:09
FMX 2822 kN
RMX 2265 kN
CSX 286.2 MPa
CSI 315.4 MPa
TSX 45.5 MPa
EMX 64.8 kN-m
VMX 6.36 m/s
DMX 38 mm
FVP 1.1 []

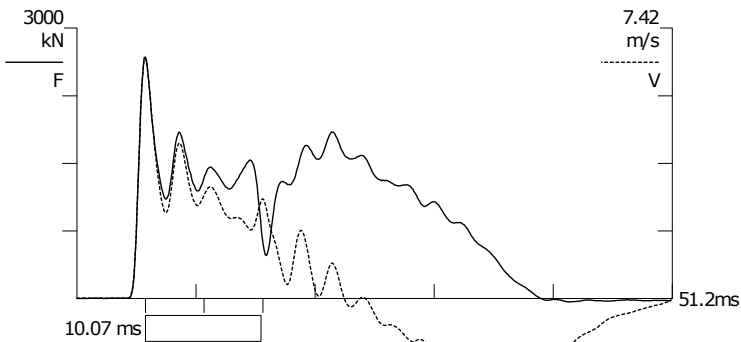
LE 27.1 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F12 A12

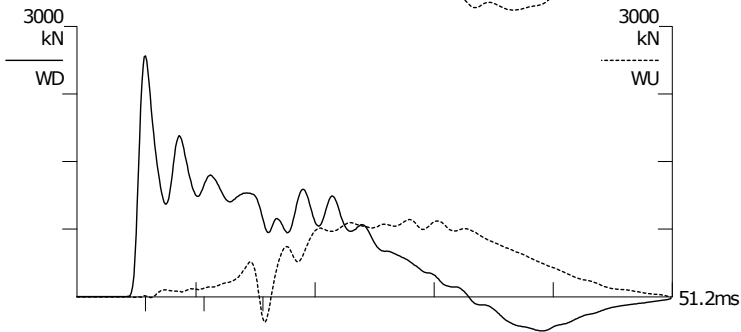
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



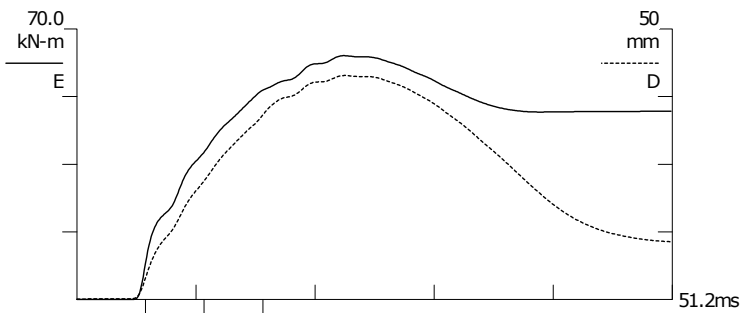
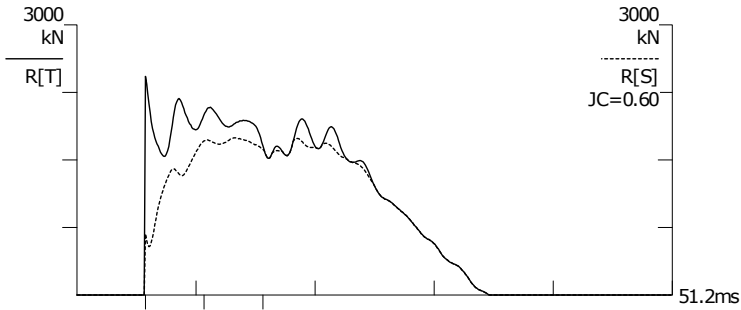


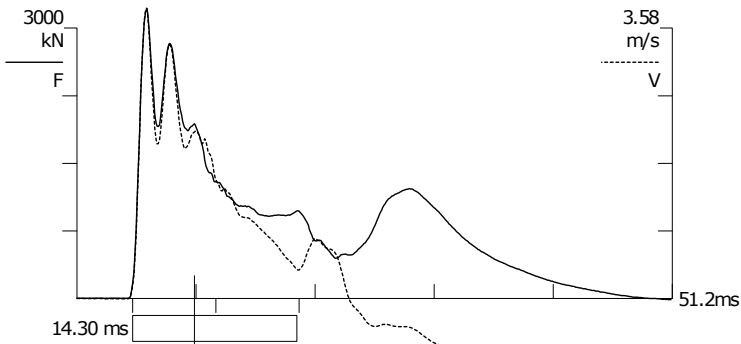
BN 9
5.3.2015 10:44:51
FMX 2680 kN
RMX 1746 kN
CSX 271.8 MPa
CSI 327.0 MPa
TSX 36.0 MPa
EMX 63.1 kN-m
VMX 6.59 m/s
DMX 41 mm
FVP 1.0 []

LE 25.8 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F12 A12
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



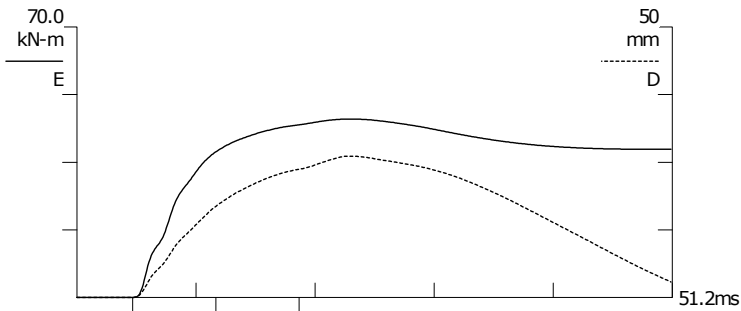
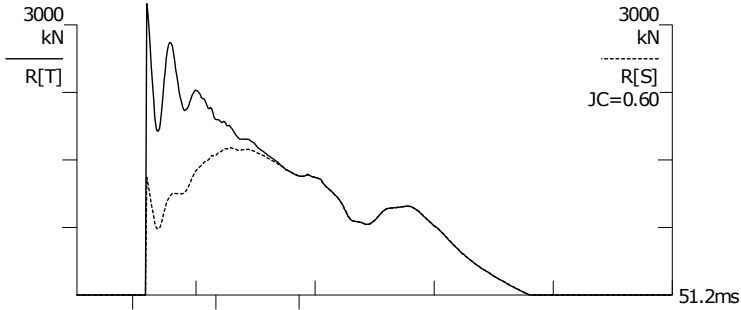
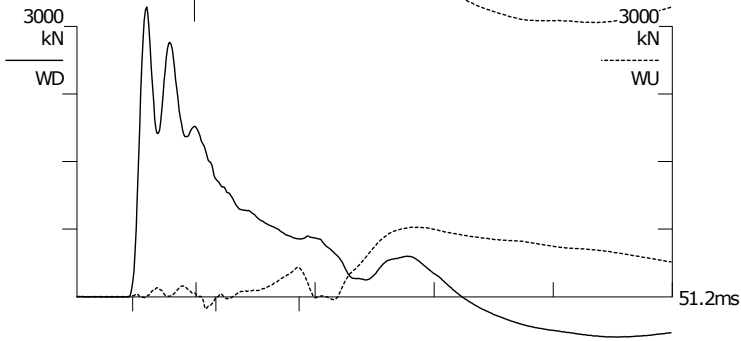


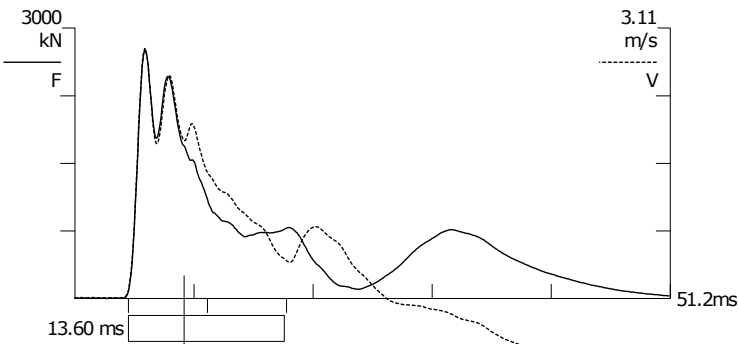
BN 12
5.3.2015 10:25:40
FMX 3223 kN
RMX 1635 kN
CSX 35.8 MPa
CSI 37.7 MPa
TSX 3.6 MPa
EMX 46.2 kN-m
VMX 3.84 m/s
DMX 26 mm
FVP 1.0 []

LE 25.9 m
AR 900.00 cm^2
EM 33963 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3650.0 m/s
EA/C 837 kN-s/m

F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



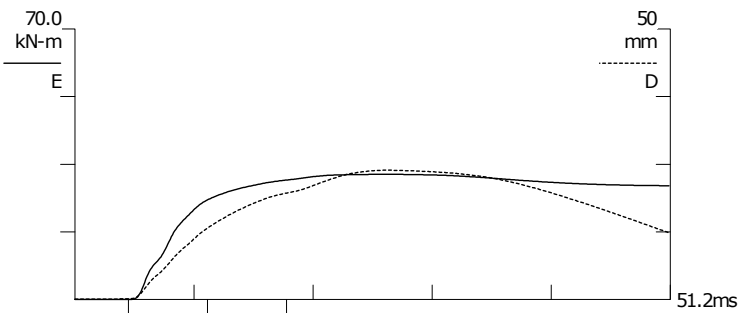
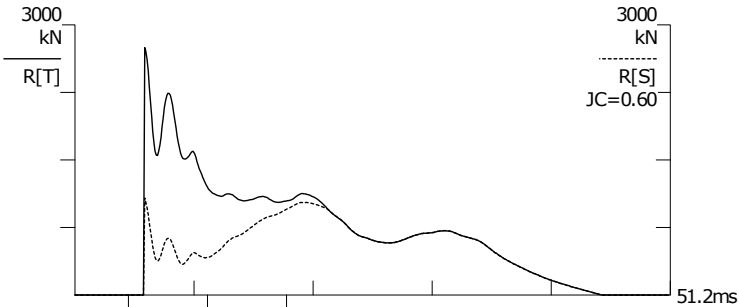
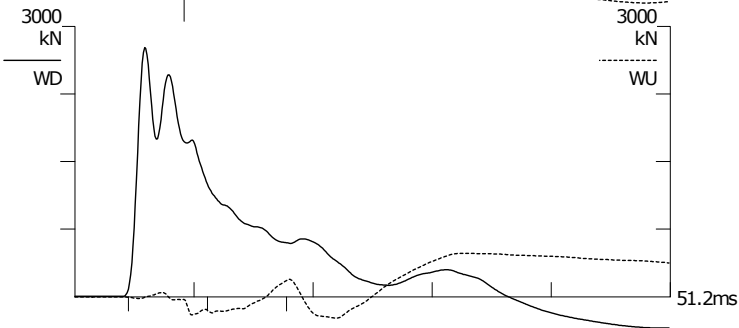


BN 5
5.3.2015 10:17:22
FMX 2759 kN
RMX 1079 kN
CSX 30.7 MPa
CSI 35.3 MPa
TSX 1.7 MPa
EMX 32.4 kN-m
VMX 2.88 m/s
DMX 24 mm
FVP 1.0 []

LE 24.2 m
AR 900.00 cm^2
EM 44969 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4200.0 m/s
EA/C 964 kN-s/m

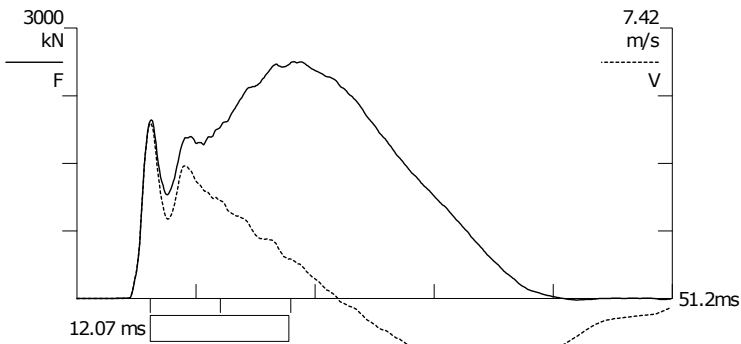
F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



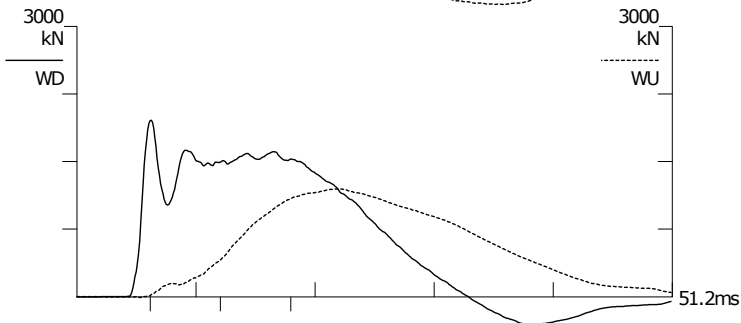
Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZET1 14 vrk
Junttan HHK 7A



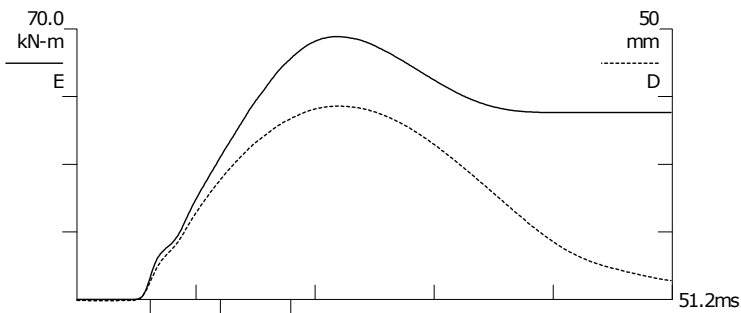
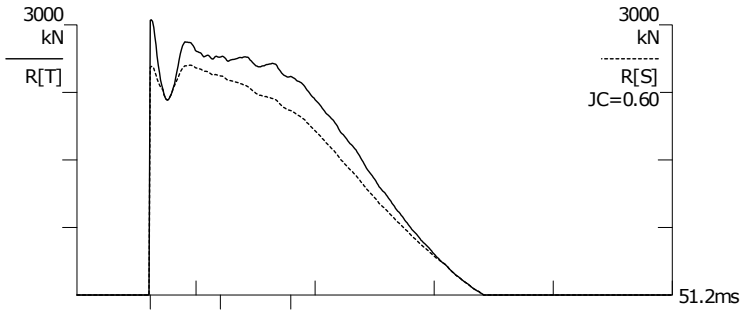
BN 50
18.3.2015 11:54:22
FMX 2627 kN
RMX 2551 kN
CSX 266.4 MPa
CSI 313.1 MPa
TSX 26.5 MPa
EMX 68.1 kN-m
VMX 4.81 m/s
DMX 36 mm
FVP 1.0 []

LE 30.9 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

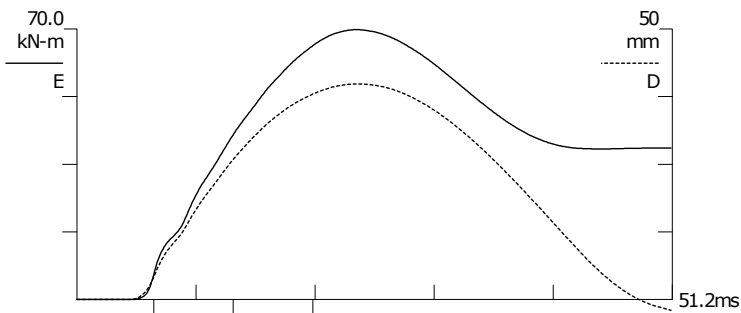
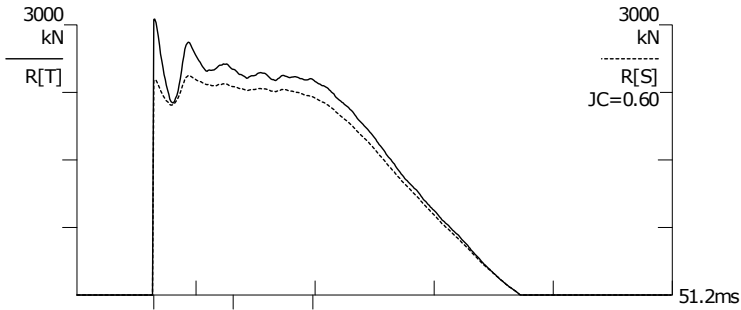
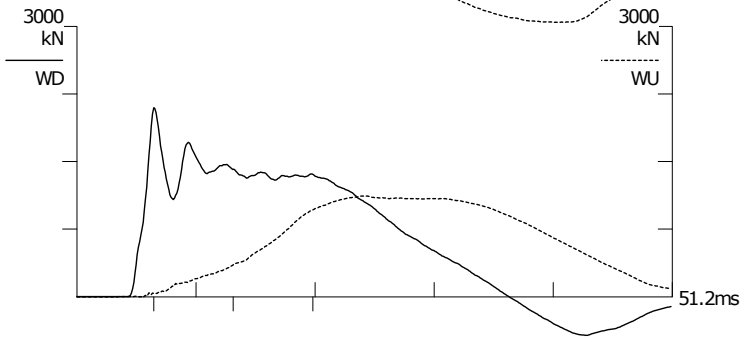
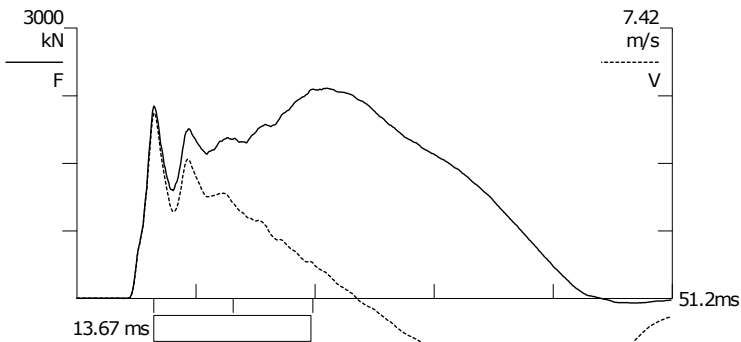
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZET2 14 vrk
Junttan HHK 7A



BN 6
18.3.2015 12:15:34
FMX 2335 kN
RMX 2436 kN
CSX 236.8 MPa
CSI 266.4 MPa
TSX 44.8 MPa
EMX 69.9 kN-m
VMX 5.09 m/s
DMX 40 mm
FVP 1.0 []

LE 35.0 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m

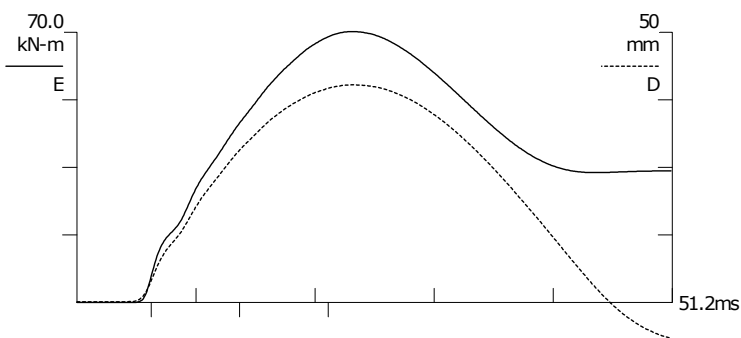
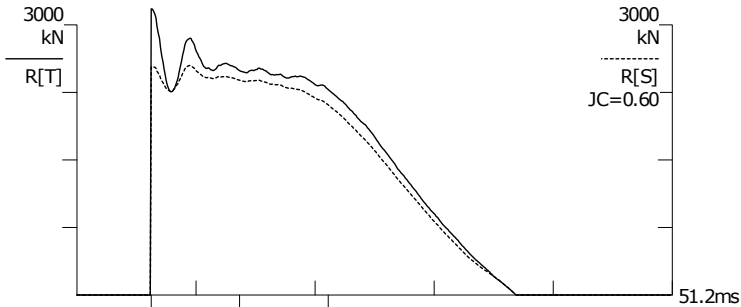
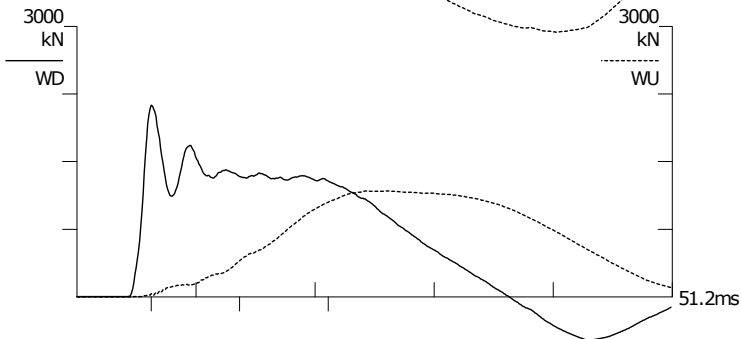
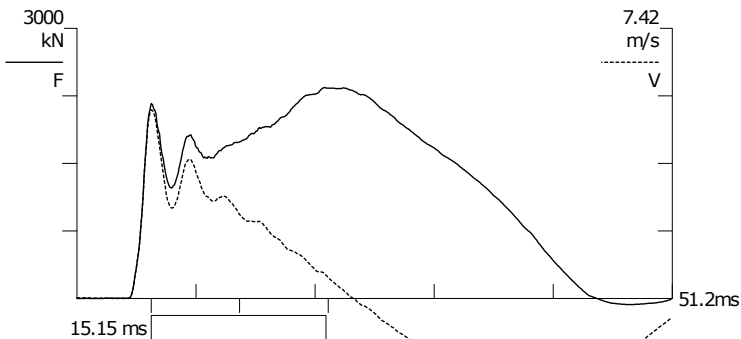
F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

Tampere University of Technology

Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZET3 14 vrk
Junttan HHK 7A

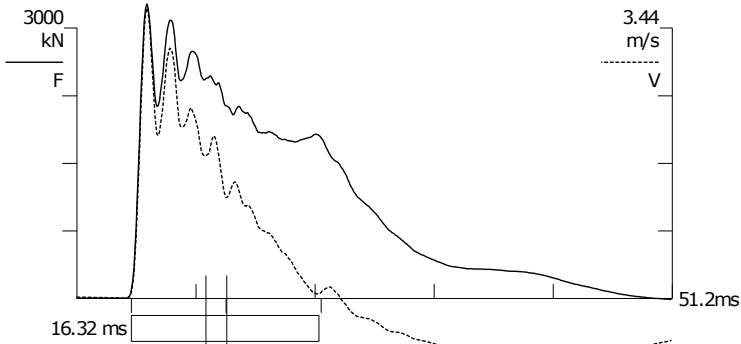


BN 6
18.3.2015 12:33:34
FMX 2341 kN
RMX 2549 kN
CSX 237.4 MPa
CSI 278.5 MPa
TSX 59.3 MPa
EMX 70.2 kN-m
VMX 5.18 m/s
DMX 40 mm
FVP 1.0 []

LE 38.8 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m

F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)

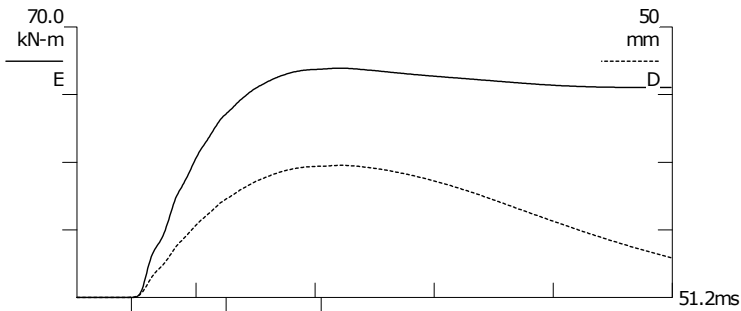
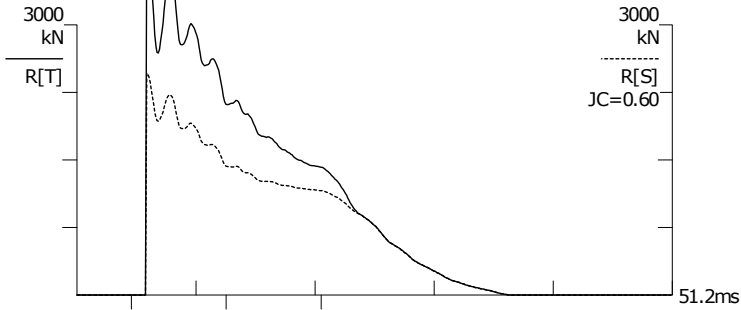
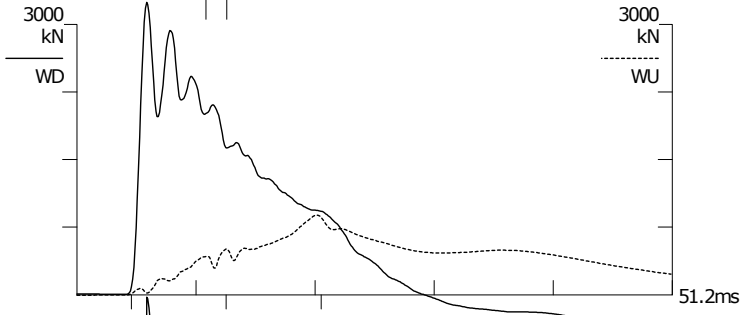


BN 8
18.3.2015 8:27:51
FMX 3267 kN
RMX 2463 kN
CSX 36.3 MPa
CSI 44.1 MPa
TSX 2.3 MPa
EMX 59.4 kN-m
VMX 3.70 m/s
DMX 24 mm
FVP 1.0 []

LE 31.0 m
AR 900.00 cm^2
EM 36812 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3800.0 m/s
EA/C 872 kN-s/m

F12 A12

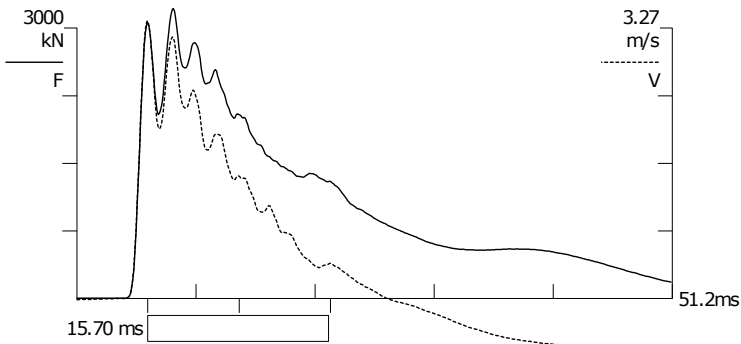
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

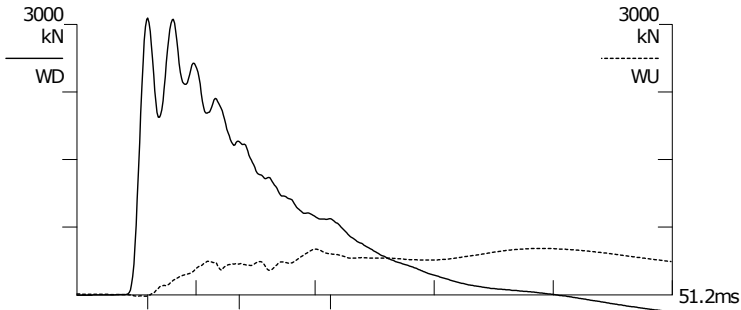
Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZEB2 14 vrk
Junttan HHK 7A



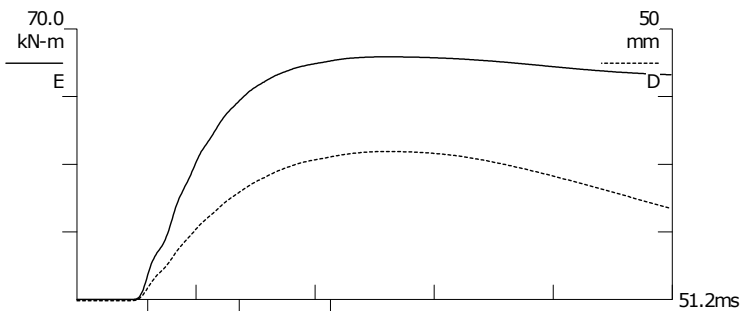
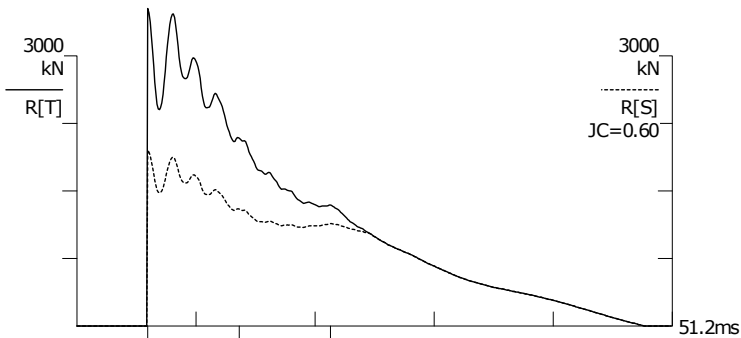
BN 8
18.3.2015 8:12:35
FMX 3217 kN
RMX 1954 kN
CSX 35.7 MPa
CSI 47.1 MPa
TSX 1.4 MPa
EMX 62.8 kN-m
VMX 3.36 m/s
DMX 27 mm
FVP 1.0 []

LE 27.5 m
AR 900.00 cm^2
EM 40789 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4000.0 m/s
EA/C 918 kN-s/m



F12 A12

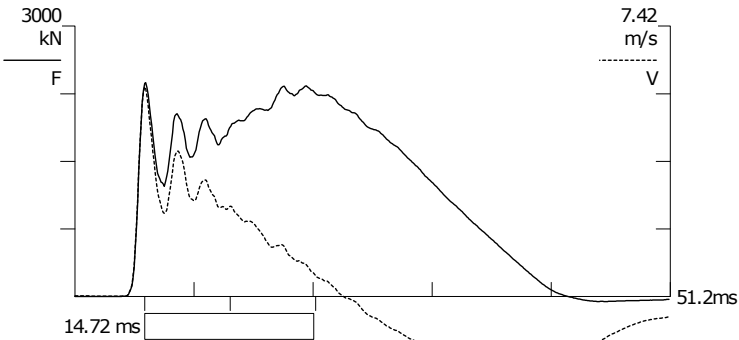
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

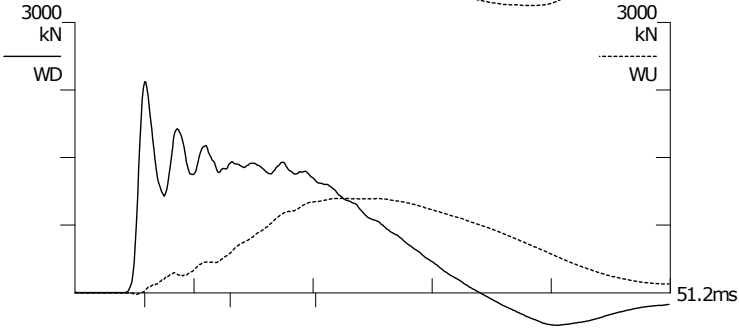
Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZPT4 14 vrk
Junttan HHK 7A



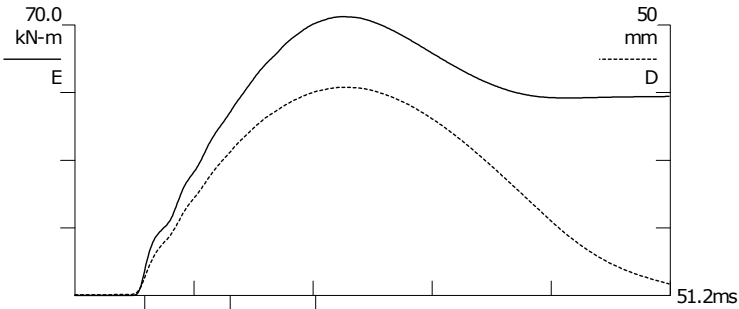
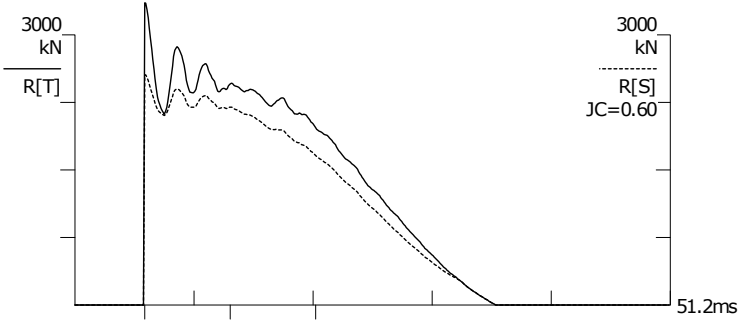
BN 14
18.3.2015 10:37:18
FMX 2375 kN
RMX 2555 kN
CSX 240.8 MPa
CSI 283.2 MPa
TSX 35.2 MPa
EMX 72.2 kN-m
VMX 5.75 m/s
DMX 38 mm
FVP 1.0 []

LE 37.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

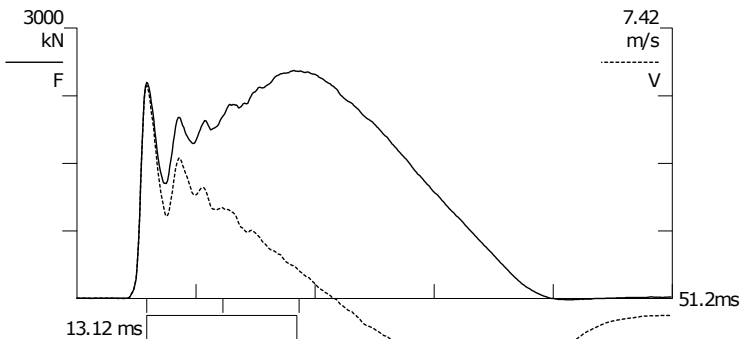
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

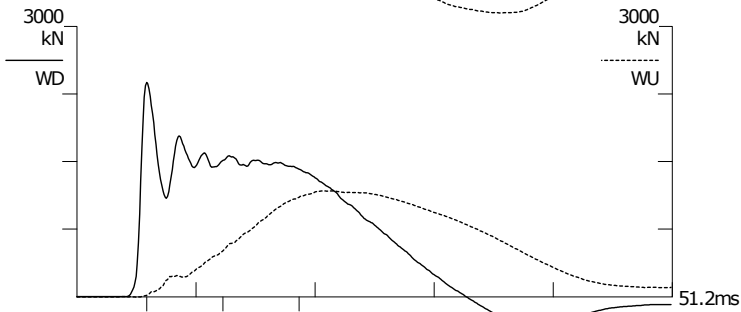
Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZPT5 14 vrk
Junttan HHK 7A



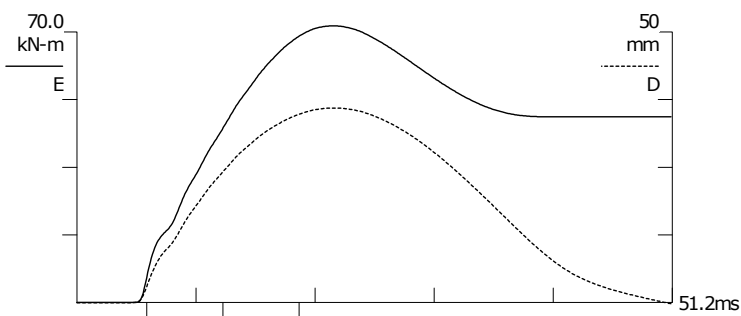
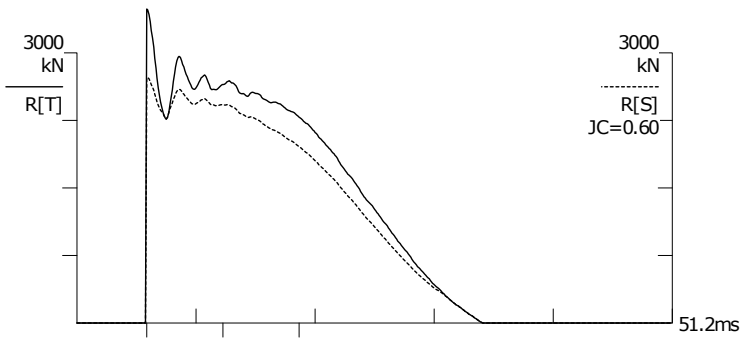
BN 10
18.3.2015 10:08:59
FMX 2530 kN
RMX 2726 kN
CSX 256.5 MPa
CSI 287.5 MPa
TSX 25.8 MPa
EMX 71.6 kN-m
VMX 5.85 m/s
DMX 36 mm
FVP 1.0 []

LE 33.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

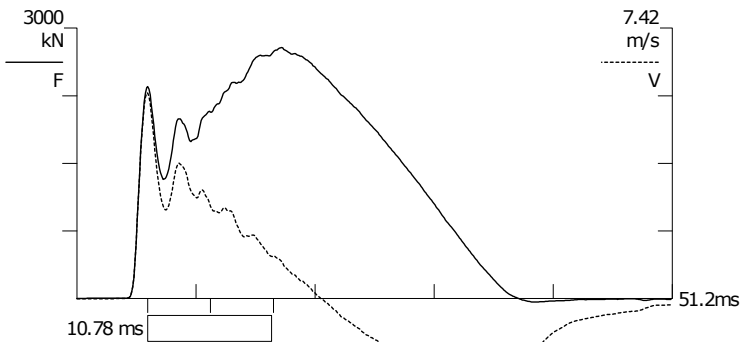
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

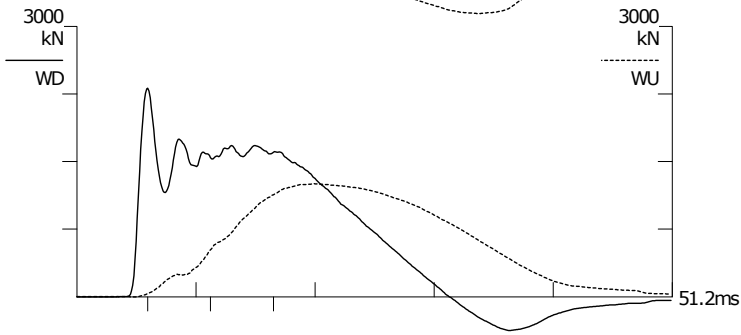
Zatelliitin koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZPT6 14 vrk
Junttan HHK 7A



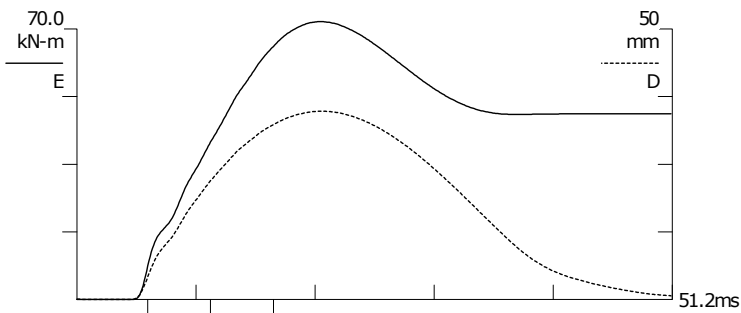
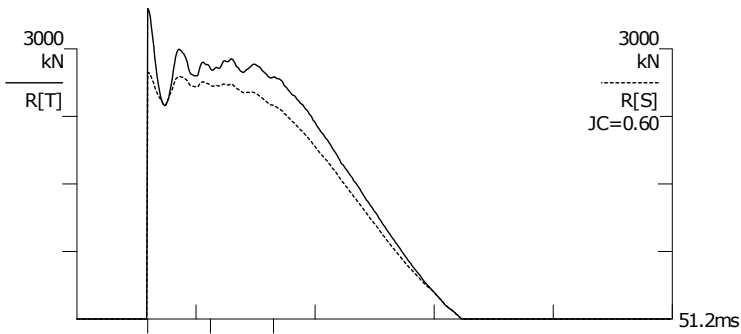
BN 17
18.3.2015 9:51:00
FMX 2786 kN
RMX 2738 kN
CSX 282.5 MPa
CSI 350.2 MPa
TSX 31.1 MPa
EMX 71.9 kN-m
VMX 5.64 m/s
DMX 35 mm
FVP 1.0 []

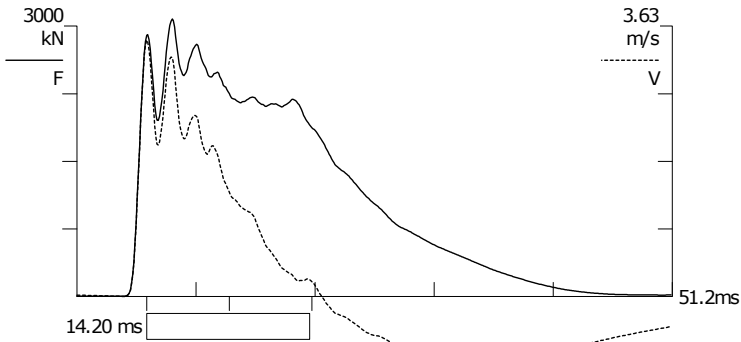
LE 27.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F1234 A12

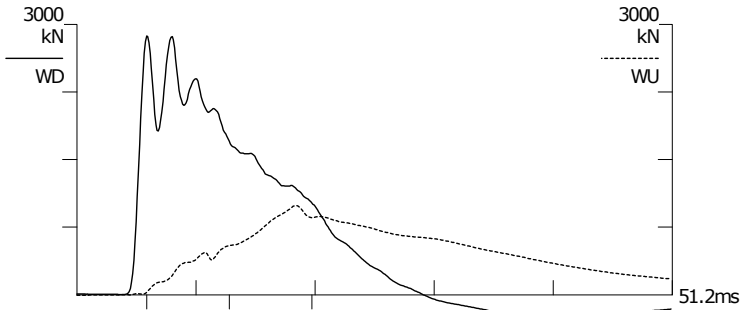
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)





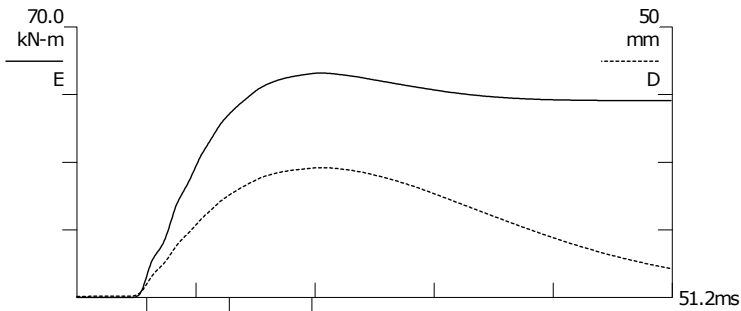
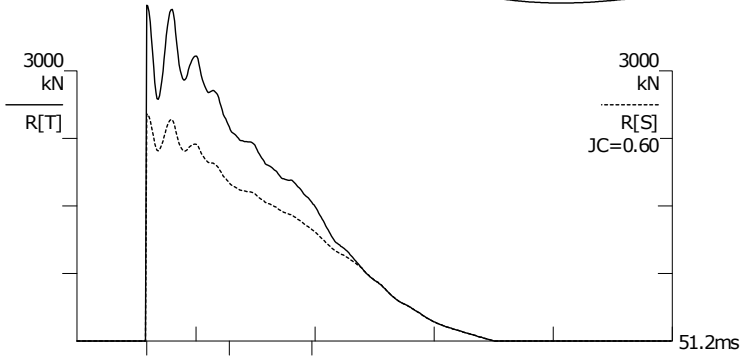
BN 12
18.3.2015 9:02:15
FMX 3080 kN
RMX 2518 kN
CSX 34.2 MPa
CSI 38.8 MPa
TSX 1.2 MPa
EMX 58.1 kN-m
VMX 3.44 m/s
DMX 24 mm
FVP 1.0 []

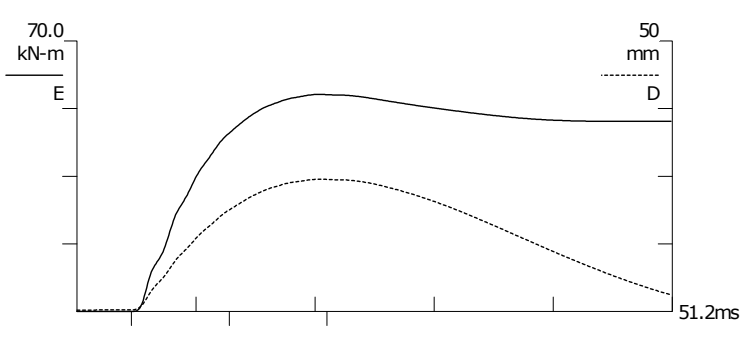
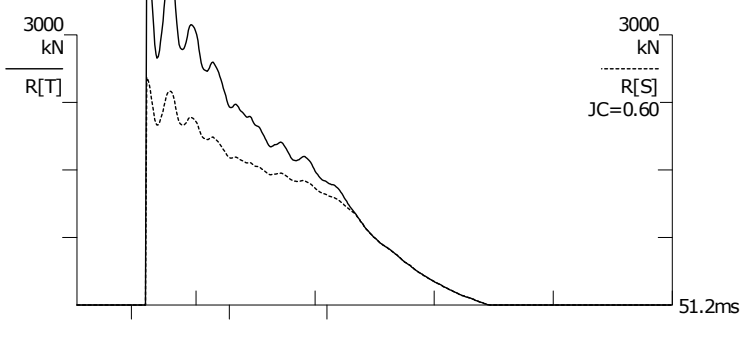
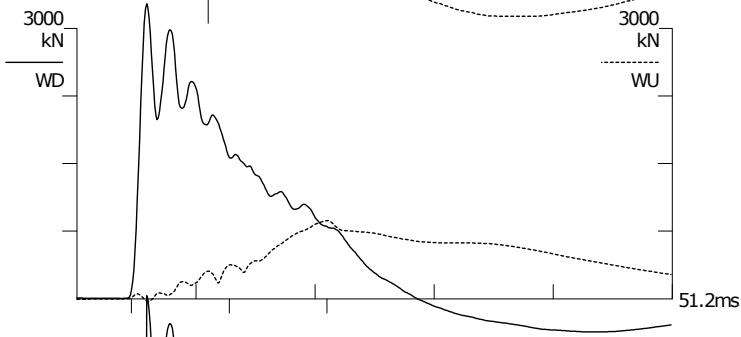
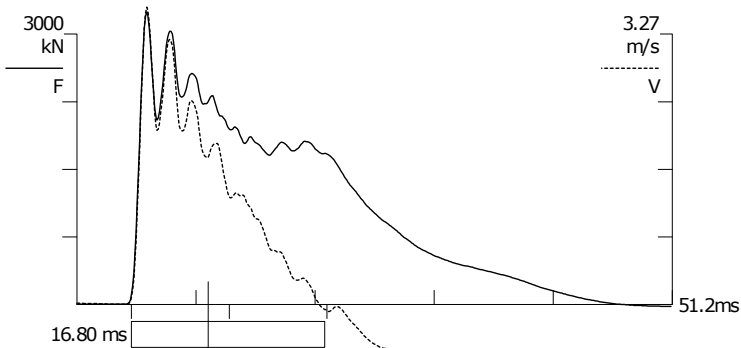
LE 27.5 m
AR 900.00 cm^2
EM 33039 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3600.0 m/s
EA/C 826 kN-s/m



F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



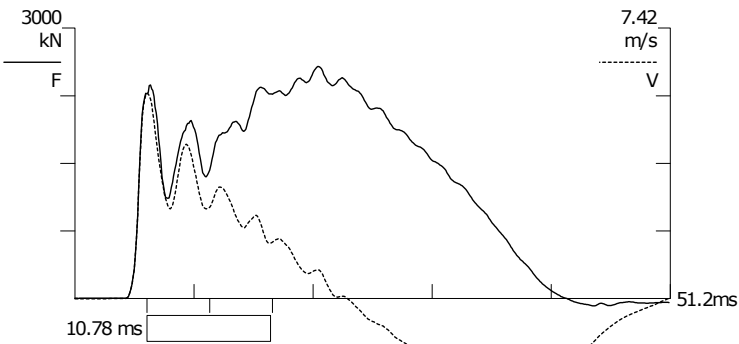


BN 6
18.3.2015 8:46:29
FMX 3249 kN
RMX 2526 kN
CSX 36.1 MPa
CSI 40.1 MPa
TSX 2.4 MPa
EMX 56.2 kN-m
VMX 3.59 m/s
DMX 24 mm
FVP 1.0 []

LE 32.7 m
AR 900.00 cm^2
EM 40789 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4000.0 m/s
EA/C 918 kN-s/m

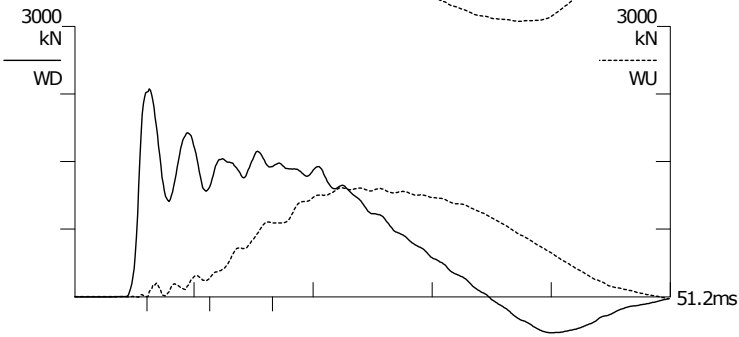
F1234 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
F3: [J372] 90.6 (1)
F4: [6476] 95.3 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



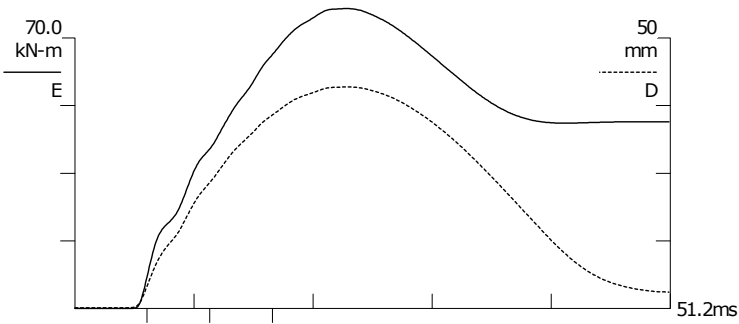
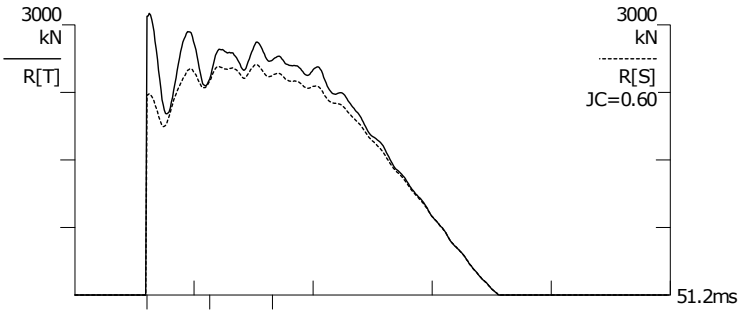
BN 9
18.3.2015 14:33:28
FMX 2576 kN
RMX 2560 kN
CSX 261.2 MPa
CSI 314.9 MPa
TSX 45.5 MPa
EMX 77.6 kN-m
VMX 5.63 m/s
DMX 41 mm
FVP 1.0 []

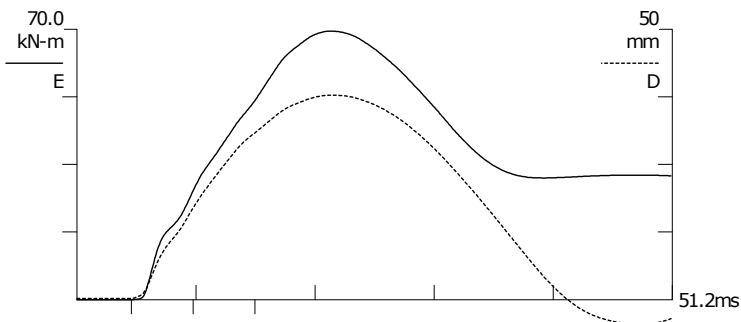
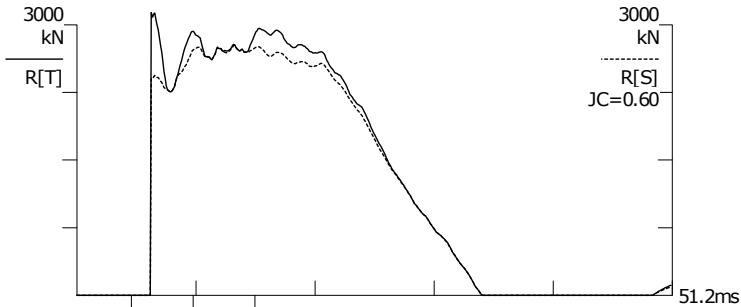
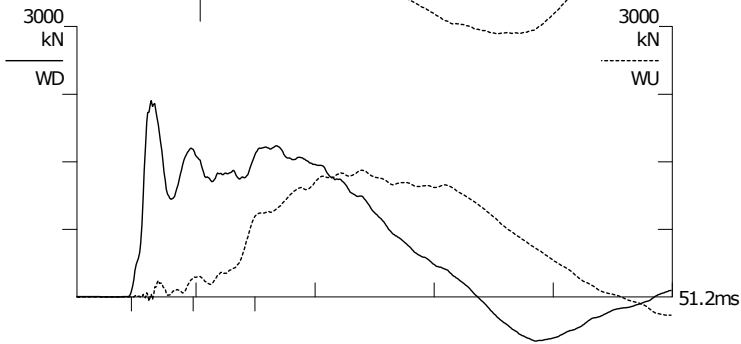
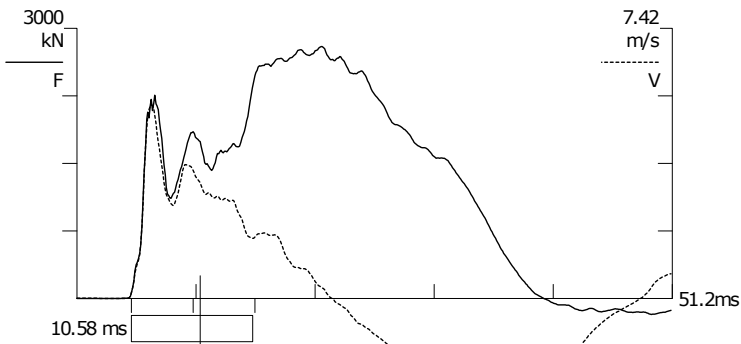
LE 27.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



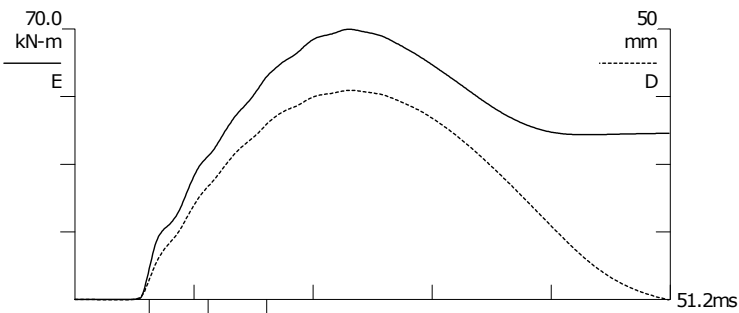
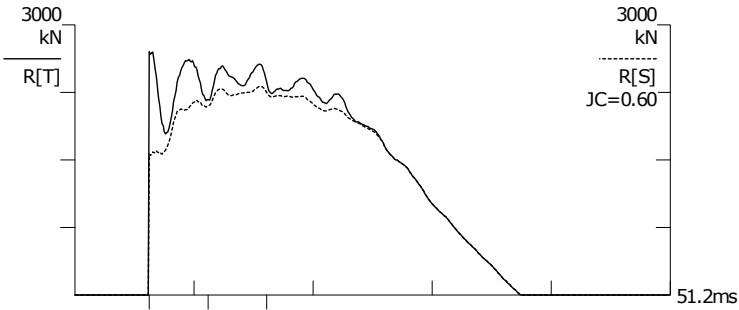
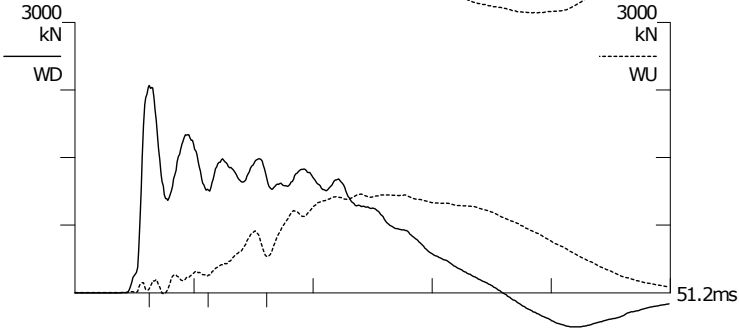
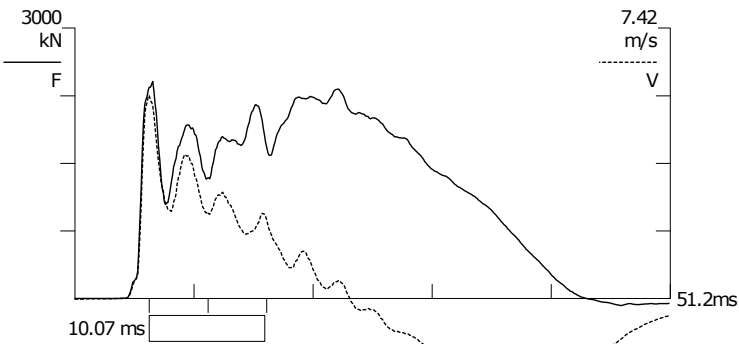


BN	10
	18.3.2015 14:44:38
FMX	2796 kN
RMX	2774 kN
CSX	283.5 MPa
CSI	339.9 MPa
TSX	68.7 MPa
EMX	69.5 kN-m
VMX	5.31 m/s
DMX	38 mm
FVP	1.0 []
LE	27.1 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
F12	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

Tampere University of Technology

Tuuliharjun koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
TU-T3 14 vrk
Junttan HHK 7A

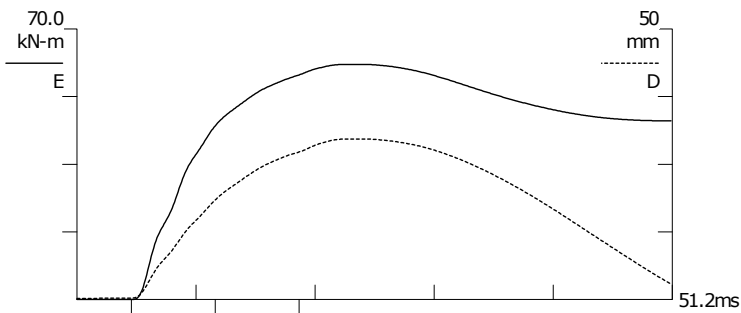
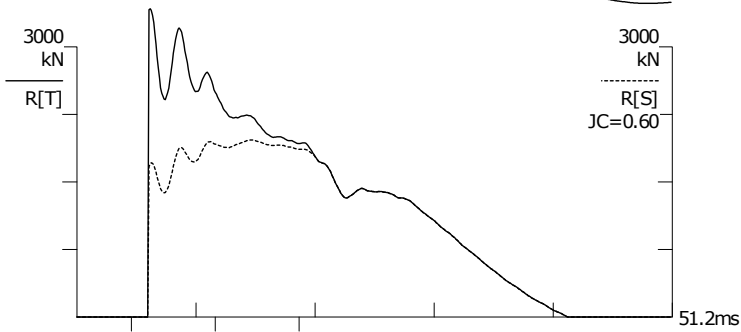
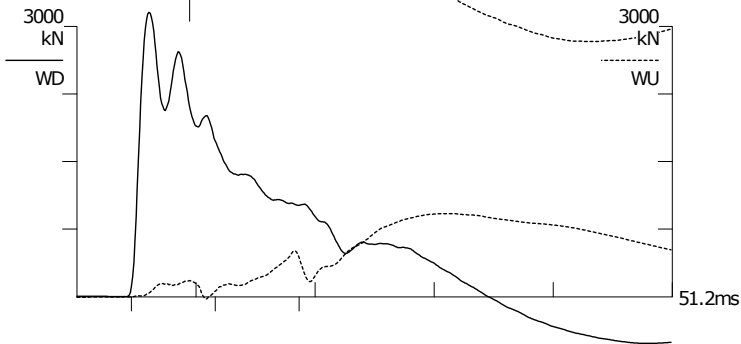
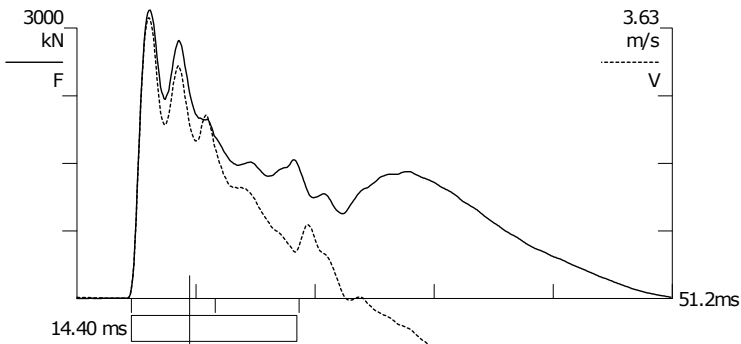


BN	8
	18.3.2015 14:56:31
FMX	2407 kN
RMX	2314 kN
CSX	244.1 MPa
CSI	296.1 MPa
TSX	36.7 MPa
EMX	69.9 kN-m
VMX	5.57 m/s
DMX	39 mm
FVP	1.0 []
LE	25.8 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
F12	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

Tampere University of Technology

Tuuliharjun koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
TU-B1 14 vrk
Junttan HHK 7A

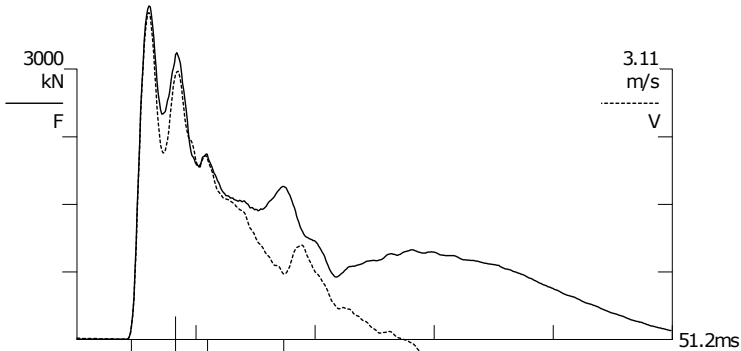


BN	7
	18.3.2015 15:11:09
FMX	3201 kN
RMX	1966 kN
CSX	35.6 MPa
CSI	38.7 MPa
TSX	3.1 MPa
EMX	60.8 kN-m
VMX	3.77 m/s
DMX	30 mm
FVP	1.0 []
LE	25.9 m
AR	900.00 cm^2
EM	33039 MPa
SP	25.0 kN/m3
WS	3600.0 m/s
EA/C	826 kN-s/m
F12	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

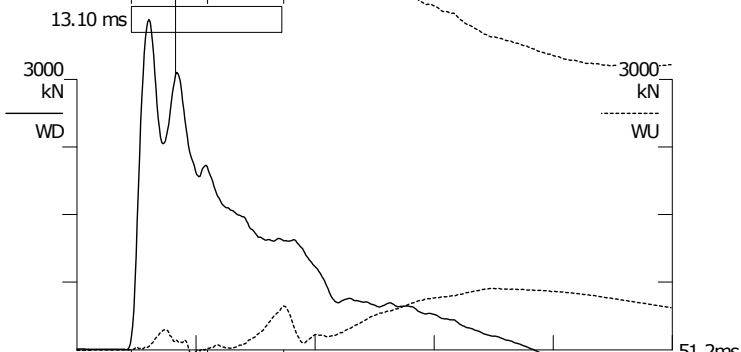
Tampere University of Technology

Tuuliharjun koepaalutus 14vrk
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
TU-B2 14 vrk
Junttan HHK 7A

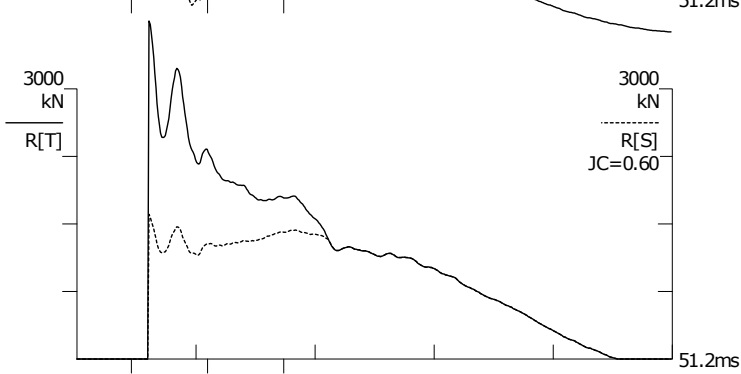


BN 5
18.3.2015 15:19:08
FMX 3702 kN
RMX 1605 kN
CSX 41.1 MPa
CSI 42.4 MPa
TSX 2.1 MPa
EMX 63.6 kN-m
VMX 3.77 m/s
DMX 30 mm
FVP 1.0 []

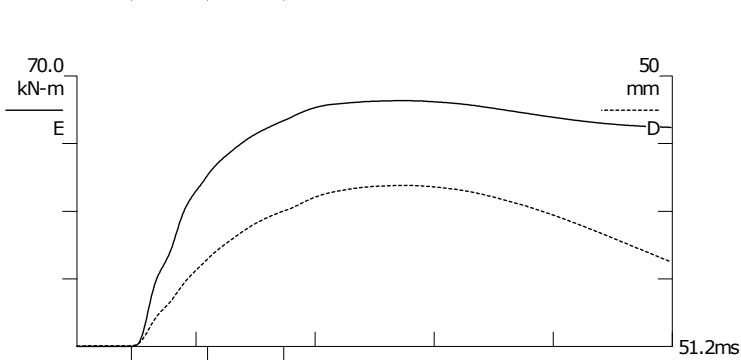


LE 24.2 m
AR 900.00 cm^2
EM 44969 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 4200.0 m/s
EA/C 964 kN-s/m

F12 A12
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



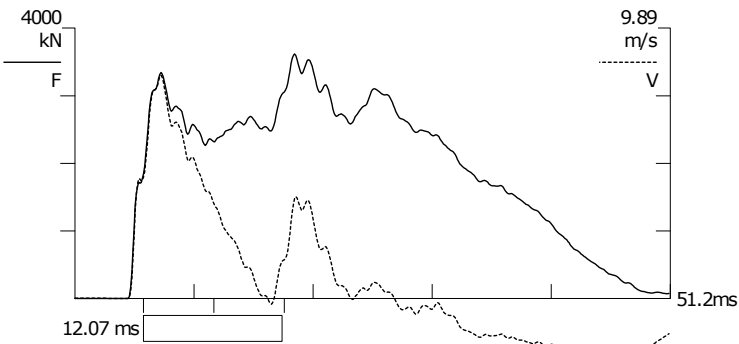
3000 kN
R[S]
JC=0.60



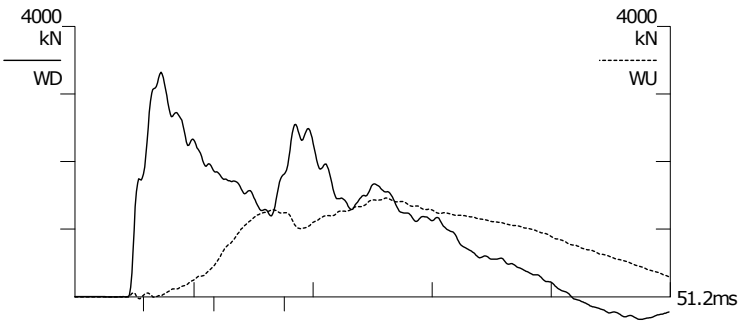
50 mm
D

Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZET1 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t



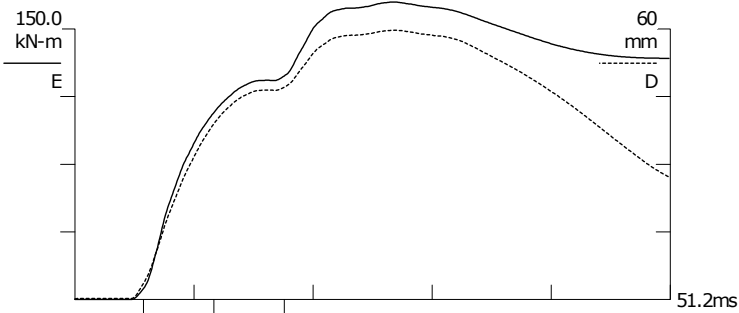
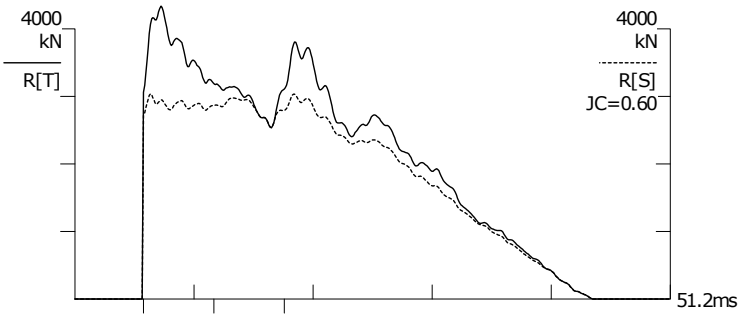
BN 25
31.3.2015 15:15:22
FMX 3618 kN
RMX 3036 kN
CSX 366.9 MPa
CSI 381.2 MPa
TSX 19.5 MPa
EMX 165.0 kN-m
VMX 8.17 m/s
DMX 60 mm
FVP 1.0 []



LE 30.9 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m

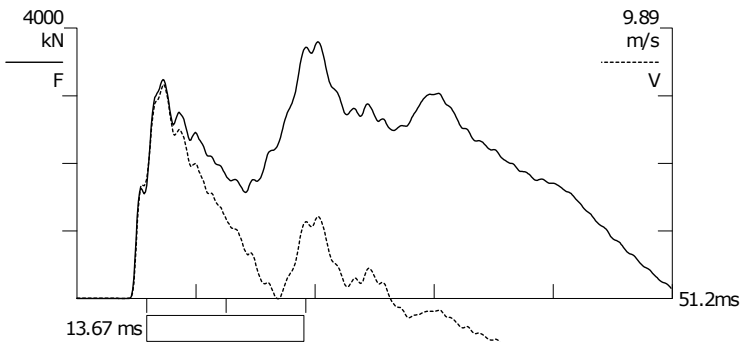
F12 A12

F1: [J246] 91.4 (1)
F2: [J439] 92.1 (1)
A1: [45903] 1165 g's/v (1)
A2: [45906] 1130 g's/v (1)



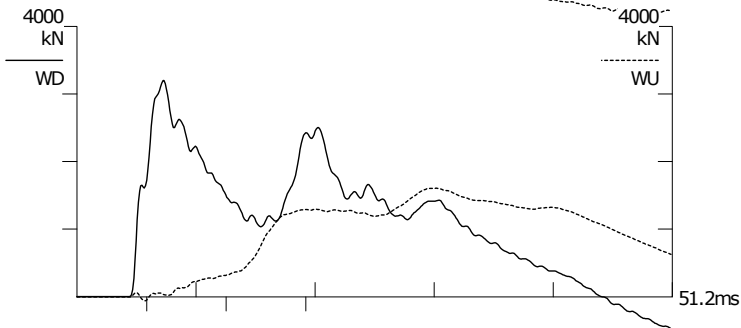
Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZET2 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t



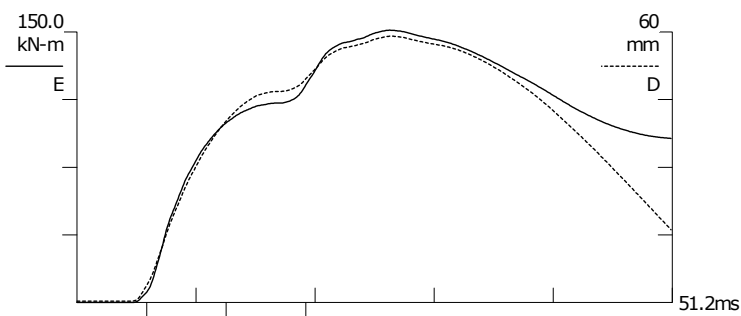
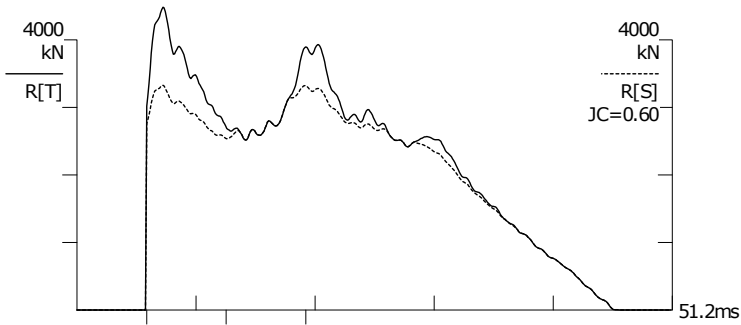
BN 27
31.3.2015 16:31:11
FMX 3798 kN
RMX 3327 kN
CSX 385.1 MPa
CSI 427.2 MPa
TSX 45.0 MPa
EMX 151.0 kN-m
VMX 7.83 m/s
DMX 59 mm
FVP 0.9 []

LE 35.0 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



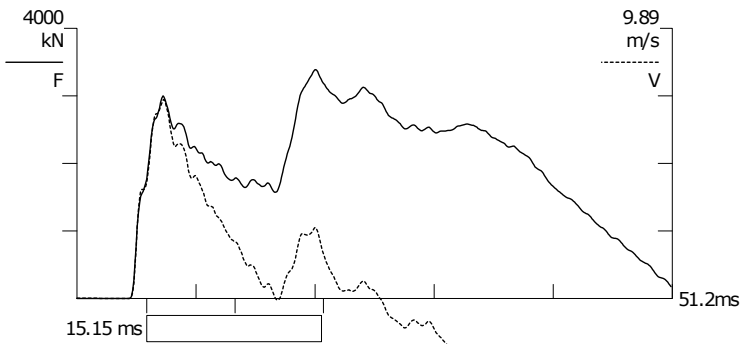
F12 A12

F1: [J246] 91.4 (1)
F2: [J439] 92.1 (1)
A1: [45903] 1165 g's/v (1)
A2: [45906] 1130 g's/v (1)

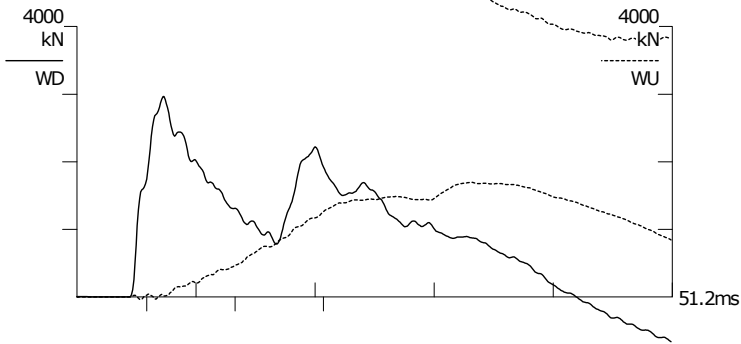


Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus
PDA OP: TRé

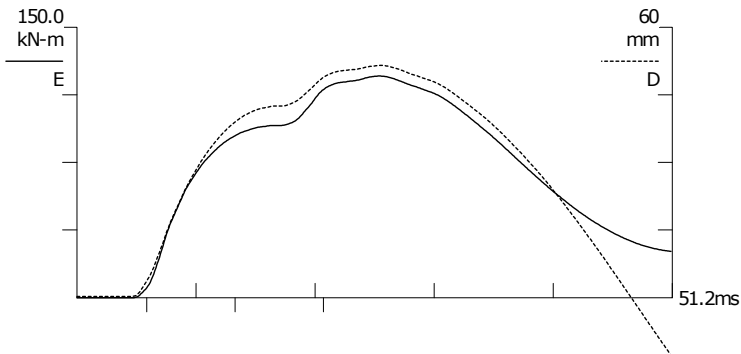
PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZET3 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t



BN	23
	31.3.2015 17:09:29
FMX	3389 kN
RMX	3561 kN
CSX	343.7 MPa
CSI	399.9 MPa
TSX	67.3 MPa
EMX	122.9 kN-m
VMX	7.29 m/s
DMX	52 mm
FVP	1.0 []
LE	38.8 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m

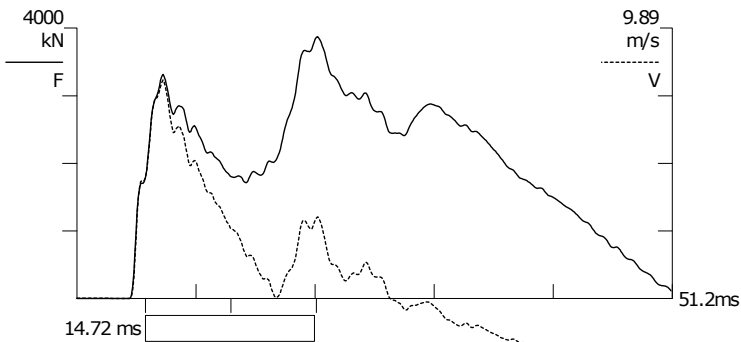


F12	A1
F1:	[9129] 92.9 (1)
F2:	[8603] 93.3 (1)
A1:	[16191] 1040 g's/v (1)



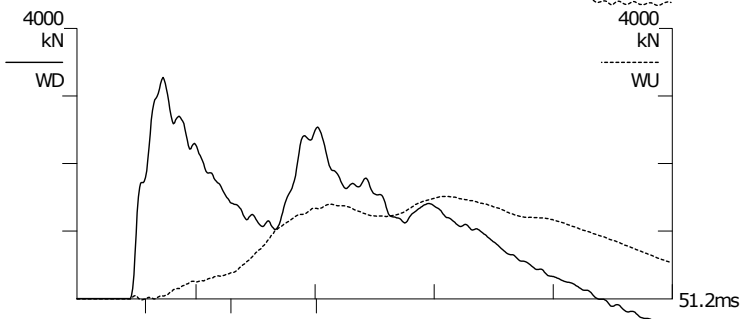
Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZPT4 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t

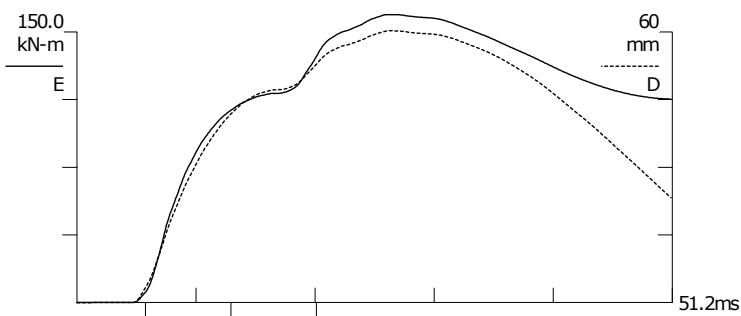
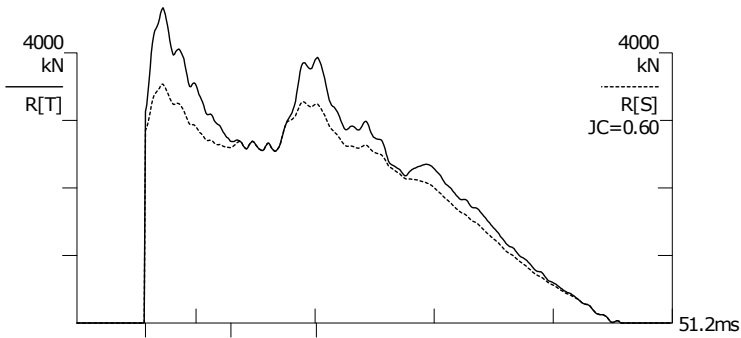


BN 37
31.3.2015 14:45:25
FMX 3875 kN
RMX 3533 kN
CSX 392.9 MPa
CSI 429.3 MPa
TSX 40.8 MPa
EMX 159.7 kN-m
VMX 8.00 m/s
DMX 60 mm
FVP 1.0 []

LE 37.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m

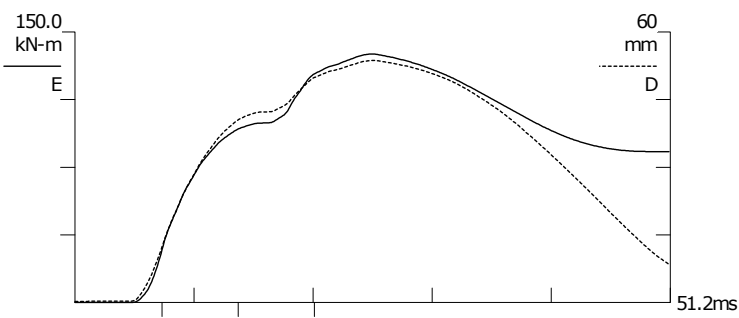
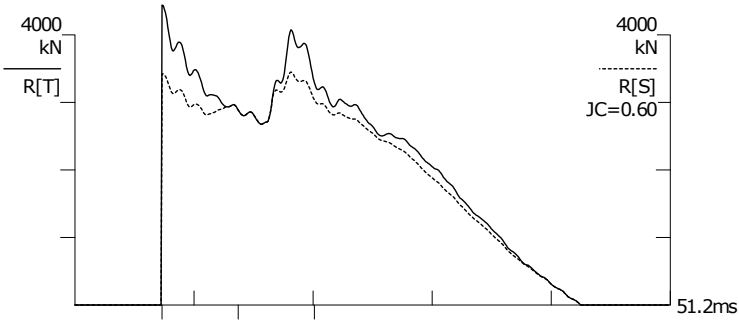
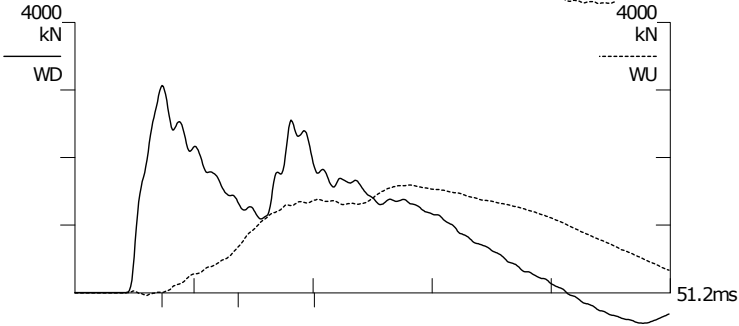
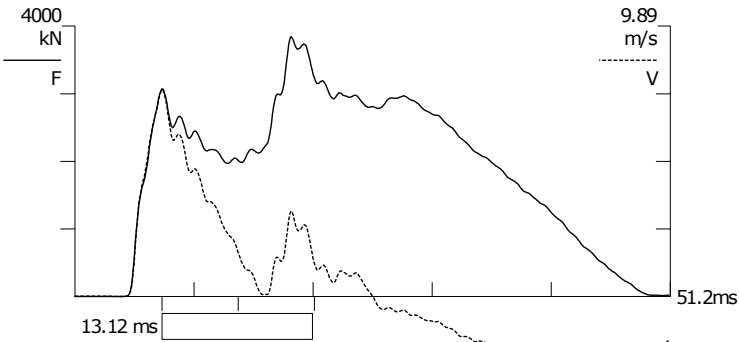


F12 A12
F1: [J246] 91.4 (1)
F2: [J439] 92.1 (1)
A1: [45903] 1165 g's/v (1)
A2: [45906] 1130 g's/v (1)



Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZPT5 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t



BN 8
31.3.2015 14:16:54
FMX 3845 kN
RMX 3450 kN
CSX 389.9 MPa
CSI 415.2 MPa
TSX 36.3 MPa
EMX 137.8 kN-m
VMX 7.58 m/s
DMX 54 mm
FVP 1.0 []

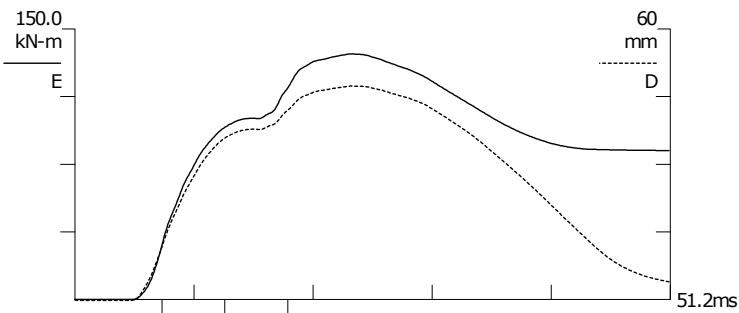
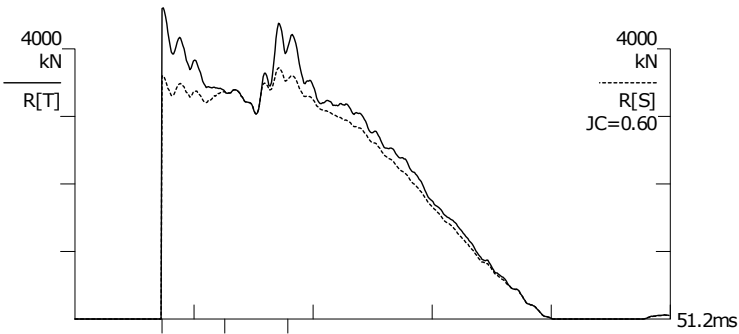
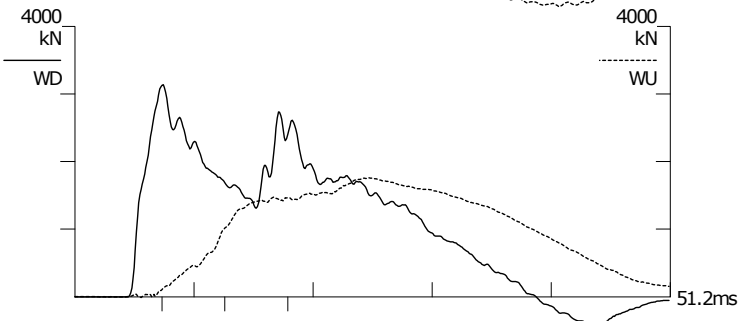
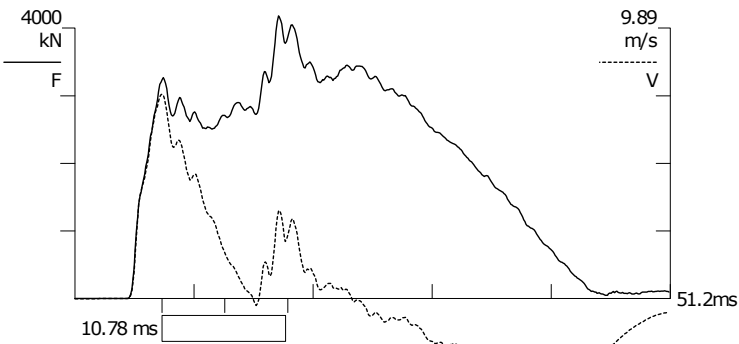
LE 33.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m

F12 A12

F1: [J246] 91.4 (1)
F2: [J439] 92.1 (1)
A1: [45903] 1165 g's/v (1)
A2: [45906] 1130 g's/v (1)

Tampere University of Technology
Zatelliitin koepaalutus
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
ZPT6 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t



BN 14
31.3.2015 13:50:43
FMX 4181 kN
RMX 3722 kN
CSX 424.0 MPa
CSI 508.7 MPa
TSX 30.1 MPa
EMX 136.2 kN-m
VMX 7.47 m/s
DMX 47 mm
FVP 1.1 []

LE 27.6 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m

F12 A12

F1: [J246] 91.4 (1)
F2: [J439] 92.1 (1)
A1: [45903] 1165 g's/v (1)
A2: [45906] 1130 g's/v (1)

Tampere University of Technology

Tuuliharjun koepaalutus

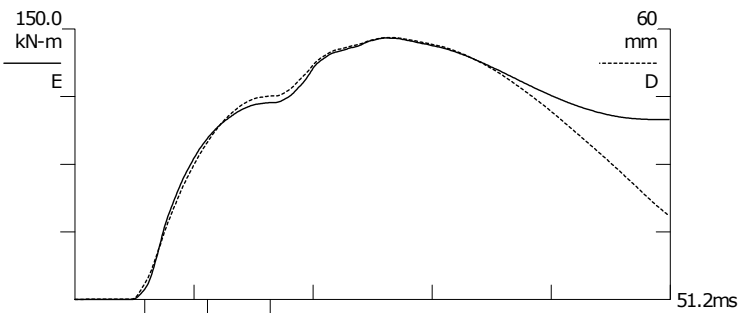
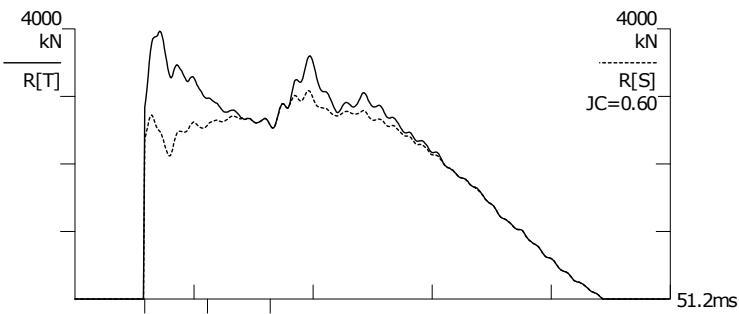
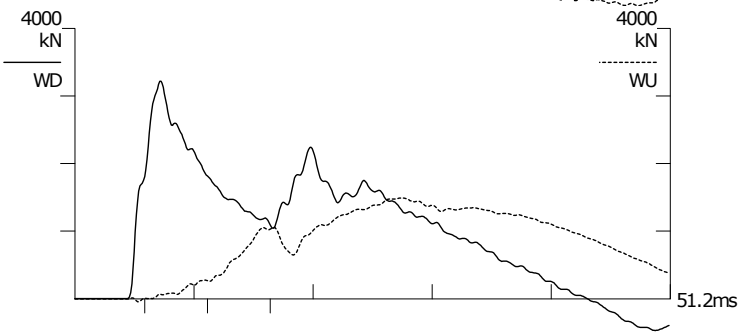
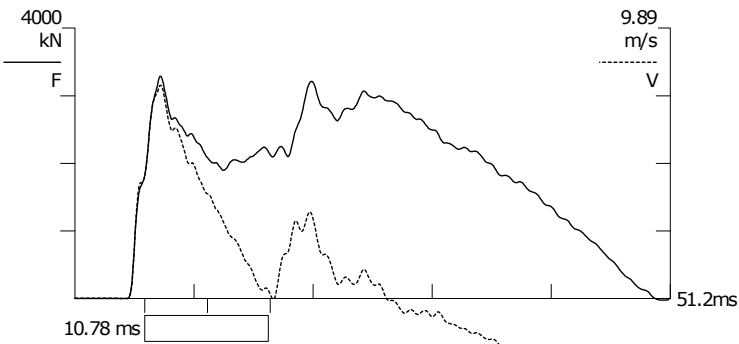
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER®

Version 2009.098.053

TU-T1 28vrk

Vapaapudotusjarkale 9t



BN	24
	31.3.2015 9:01:39
FMX	3287 kN
RMX	3085 kN
CSX	333.4 MPa
CSI	350.8 MPa
TSX	48.9 MPa
EMX	145.1 kN-m
VMX	7.80 m/s
DMX	58 mm
FVP	1.0 []
LE	27.6 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
F12	A12
F1:	[J246] 91.4 (1)
F2:	[J439] 92.1 (1)
A1:	[45903] 1165 g's/v (1)
A2:	[45906] 1130 g's/v (1)

Tampere University of Technology

Tuuliharjun koepaalutus

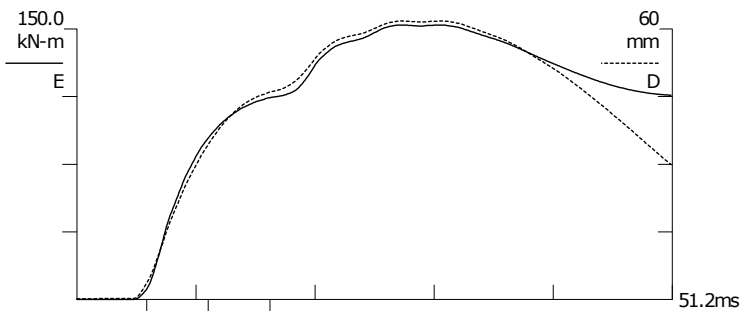
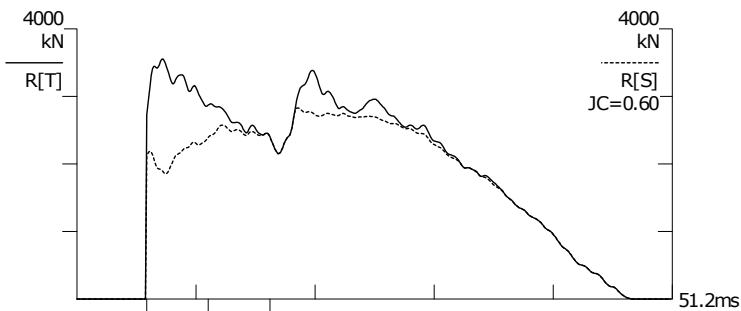
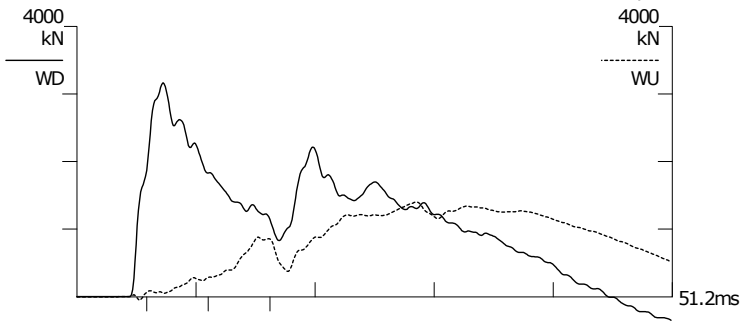
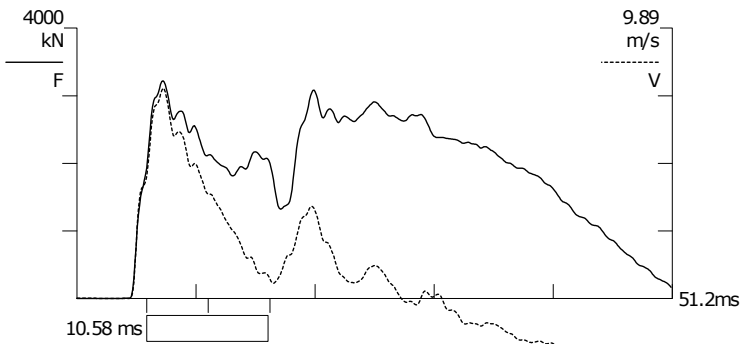
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®

Version 2009.098.053

TU-T2 28vrk

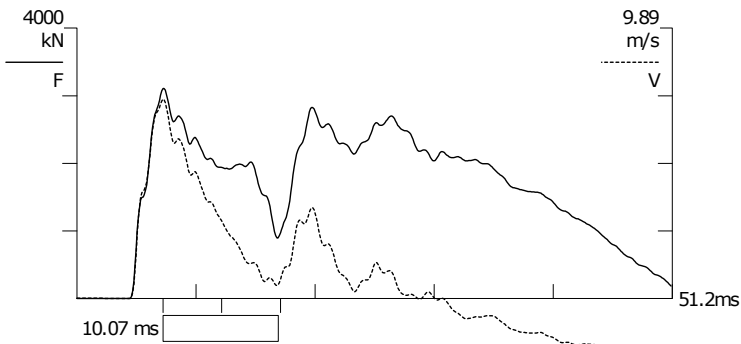
Vapaapudotusjarkale 9t



BN	7
	31.3.2015 9:43:23
FMX	3223 kN
RMX	2830 kN
CSX	326.8 MPa
CSI	384.7 MPa
TSX	33.4 MPa
EMX	152.3 kN-m
VMX	7.70 m/s
DMX	62 mm
FVP	1.1 []
LE	27.1 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
F12	A12
F1:	[J246] 91.4 (1)
F2:	[J439] 92.1 (1)
A1:	[45903] 1165 g's/v (1)
A2:	[45906] 1130 g's/v (1)

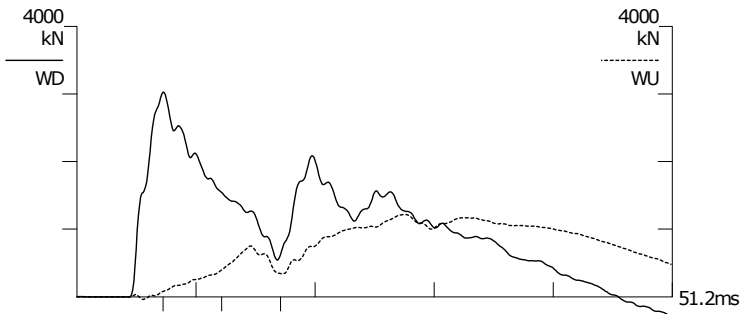
Tampere University of Technology
Tuuliharjun koepaalutus
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
TU-T3 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t



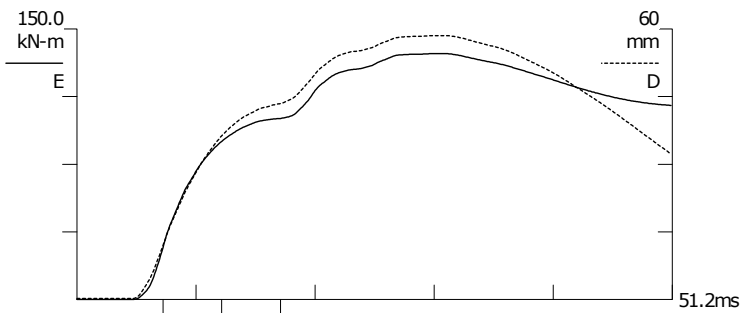
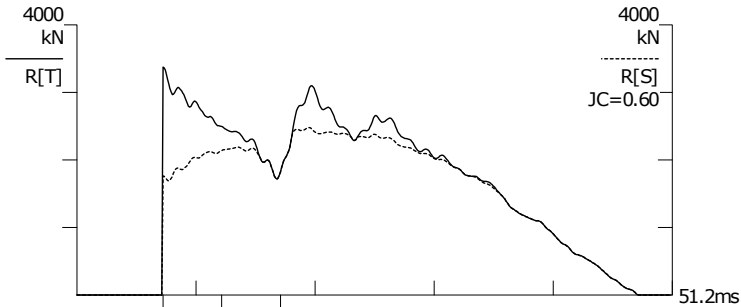
BN 18
31.3.2015 9:19:32
FMX 3110 kN
RMX 2479 kN
CSX 315.3 MPa
CSI 331.2 MPa
TSX 29.5 MPa
EMX 136.4 kN-m
VMX 7.30 m/s
DMX 59 mm
FVP 1.1 []

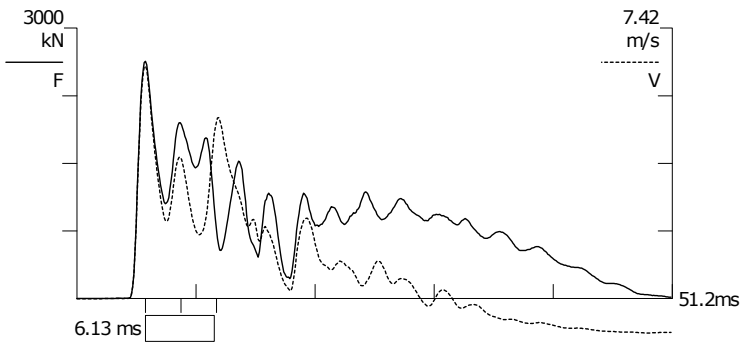
LE 25.8 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F12 A12

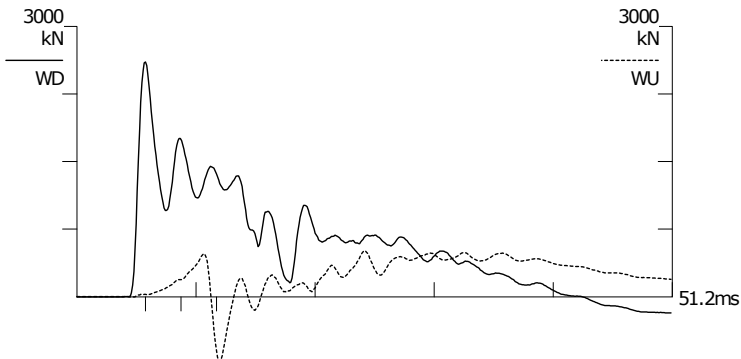
F1: [J246] 91.4 (1)
F2: [J439] 92.1 (1)
A1: [45903] 1165 g's/v (1)
A2: [45906] 1130 g's/v (1)



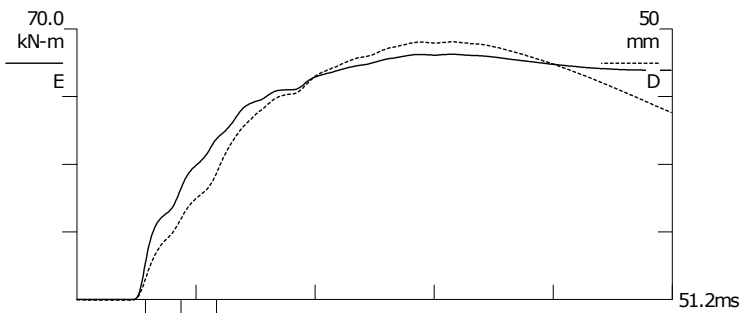
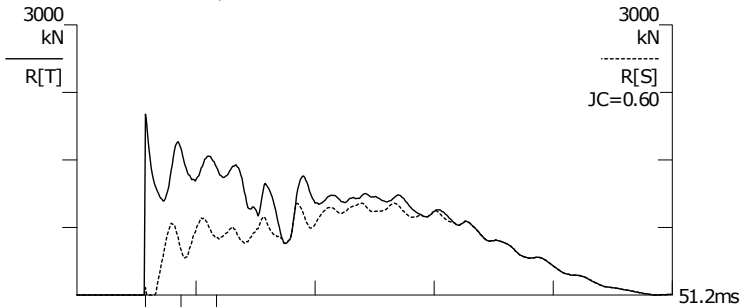


BN 6
2.3.2015 9:23:32
FMX 2633 kN
RMX 1022 kN
CSX 267.0 MPa
CSI 268.6 MPa
TSX 0.8 MPa
EMX 63.5 kN-m
VMX 6.38 m/s
DMX 48 mm
FVP 1.0 []

LE 15.7 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F12 A12
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

Koepaalutus Zatelliitti

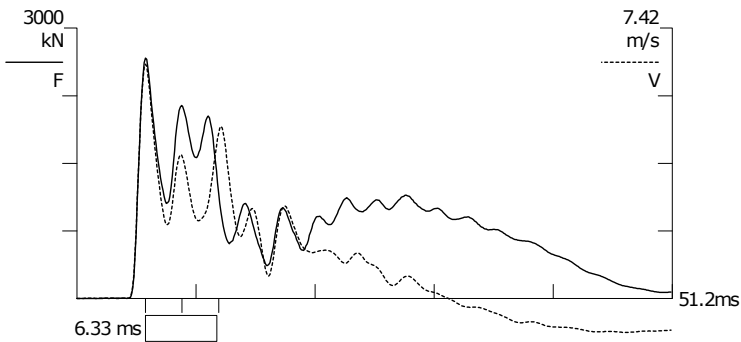
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®

Version 2009.098.053

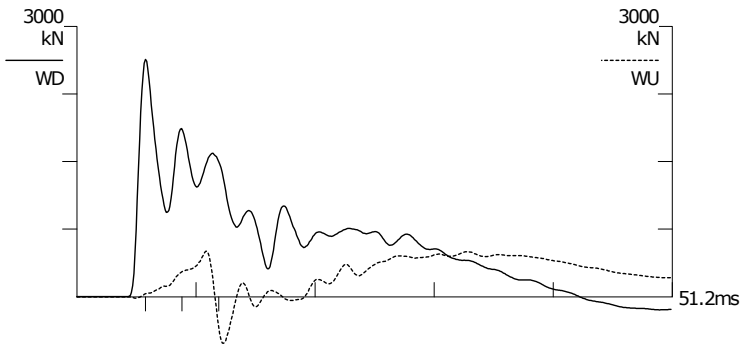
ZPT5 valimittaus

Junttan HHK 5A



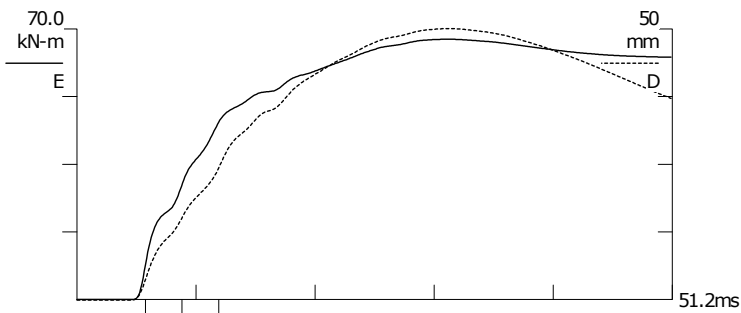
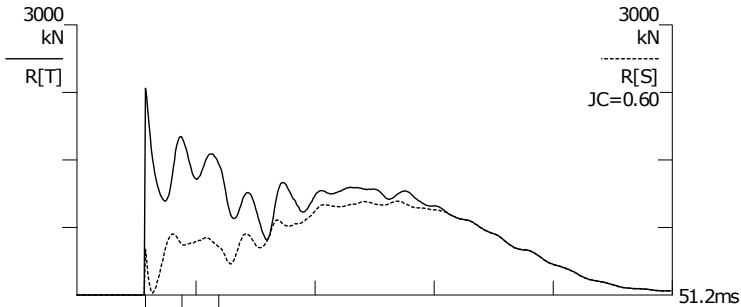
BN 15
2.3.2015 9:49:21
FMX 2670 kN
RMX 1043 kN
CSX 270.8 MPa
CSI 273.8 MPa
TSX 4.9 MPa
EMX 67.4 kN-m
VMX 6.43 m/s
DMX 50 mm
FVP 1.0 []

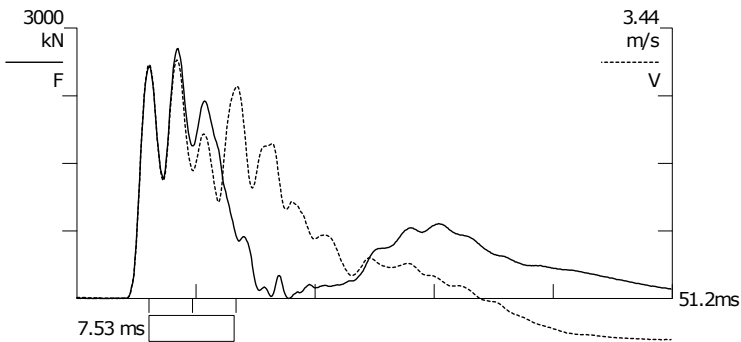
LE 16.2 m
AR 98.61 cm^2
EM 210000 MPa
SP 78.5 kN/m3
WS 5121.9 m/s
EA/C 404 kN-s/m



F12 A12

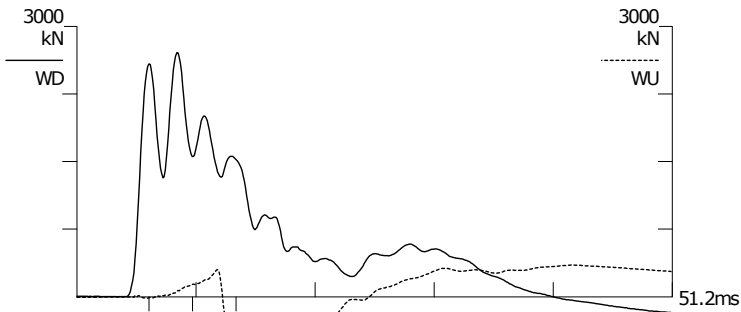
F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)





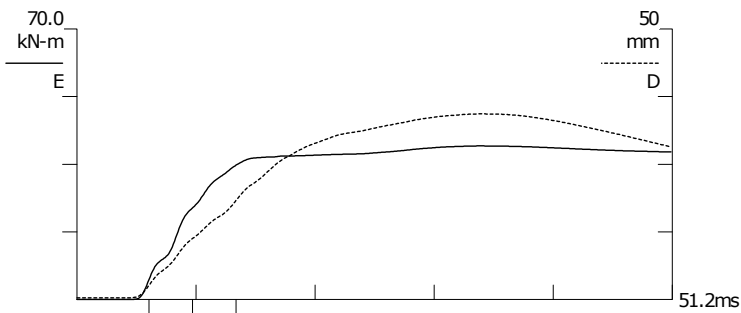
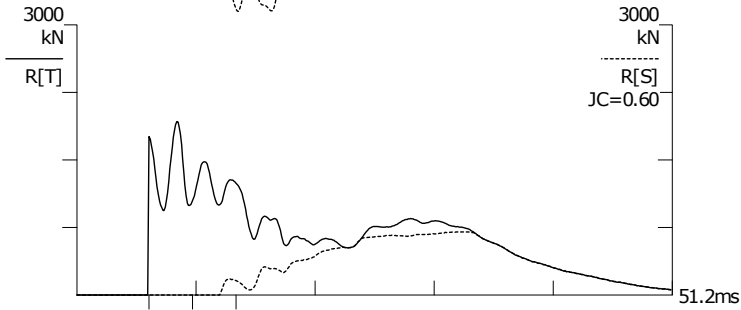
BN 13
2.3.2015 16:02:21
FMX 2774 kN
RMX 703 kN
CSX 30.8 MPa
CSI 34.0 MPa
TSX 1.1 MPa
EMX 39.7 kN-m
VMX 3.04 m/s
DMX 34 mm
FVP 1.0 []

LE 14.3 m
AR 900.00 cm^2
EM 36812 MPa
SP 25.0 kN/m3
WS 3800.0 m/s
EA/C 872 kN-s/m



F12 A12

F1: [J583] 92 (1)
F2: [J931] 91.2 (1)
A1: [45900] 1160 g's/v (1)
A2: [45901] 1150 g's/v (1)



Tampere University of Technology

Koepaalutus Zatelliitti

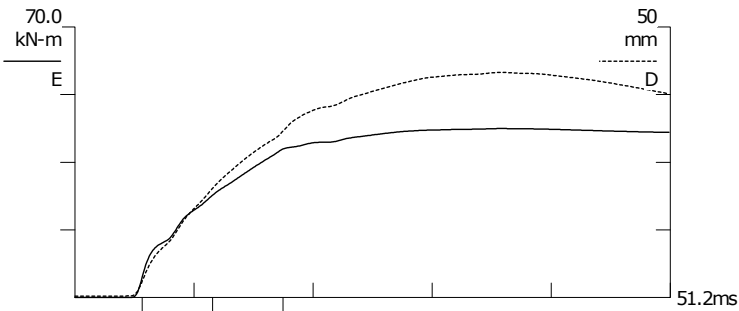
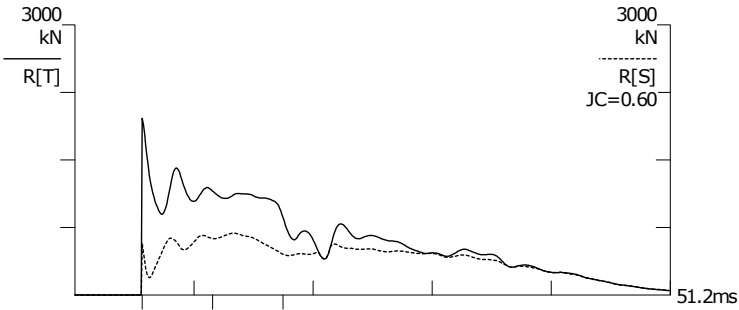
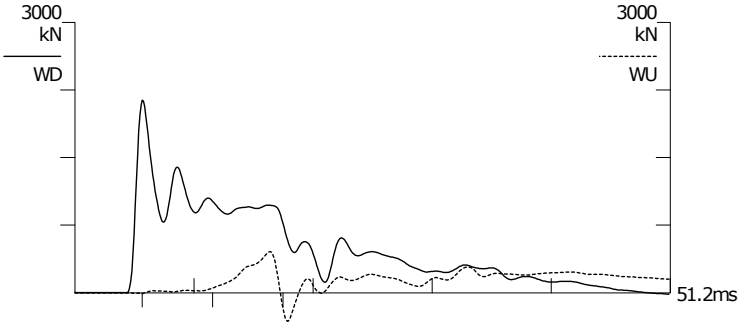
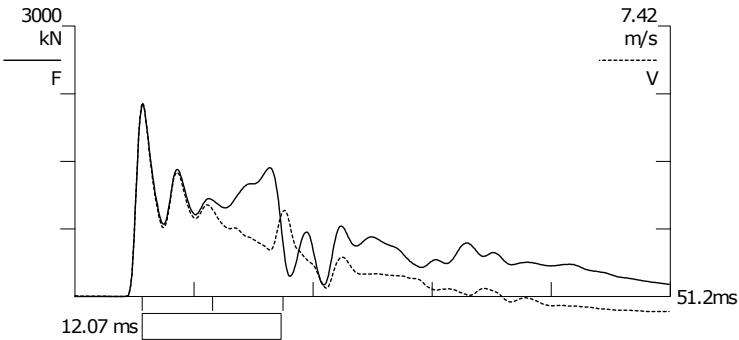
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®

Version 2009.098.053

ZET1 valimittaus

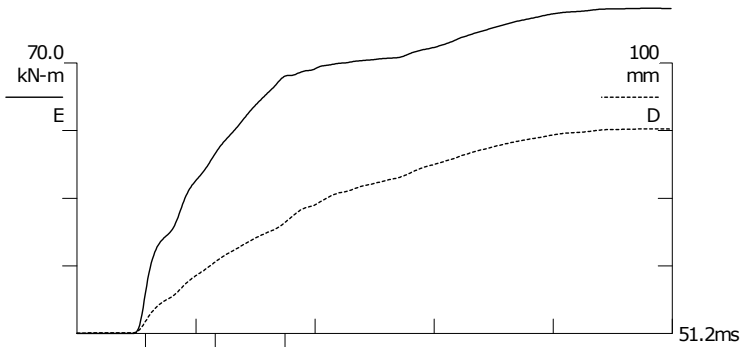
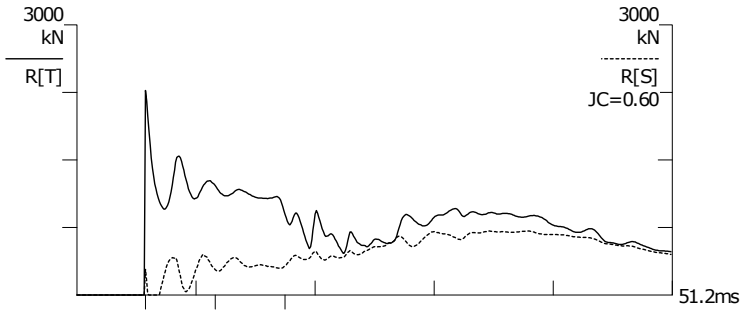
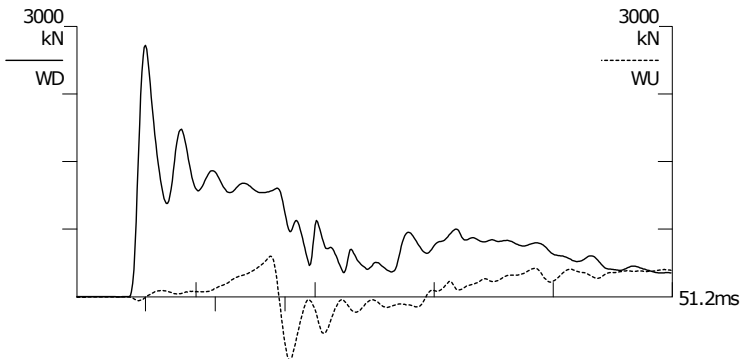
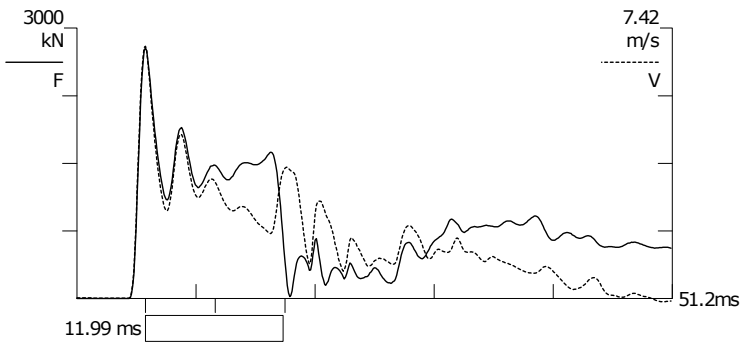
Junttan HHK 5A



BN	5
	3.3.2015 11:44:18
FMX	2126 kN
RMX	687 kN
CSX	215.6 MPa
CSI	237.3 MPa
TSX	0.2 MPa
EMX	43.7 kN-m
VMX	5.32 m/s
DMX	42 mm
FVP	1.0 []
LE	30.9 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
LP	15.0 m
F1234	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
F3:	[J372] 90.6 (1)
F4:	[6476] 95.3 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

Tampere University of Technology
Koepaalutus Tuuliharju
PDA OP: TRe

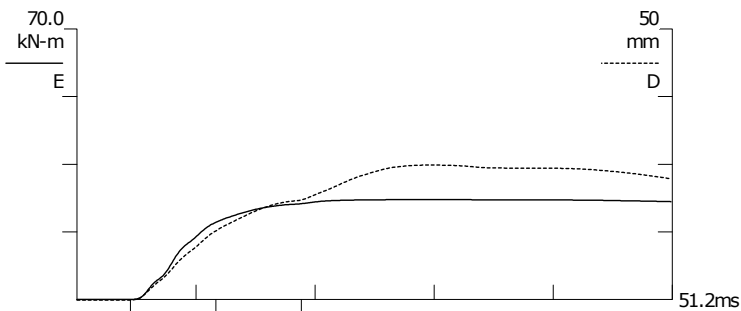
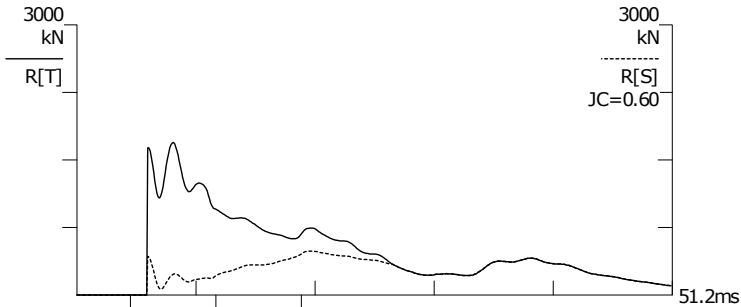
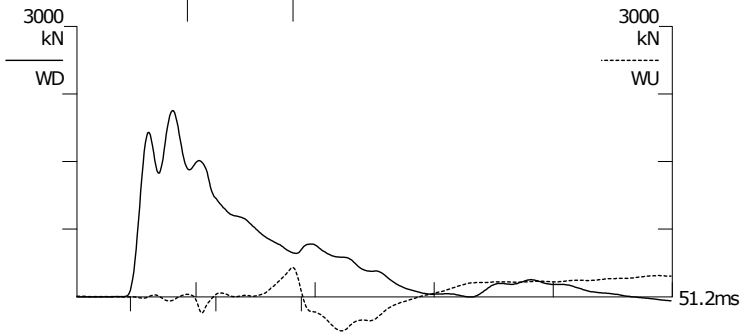
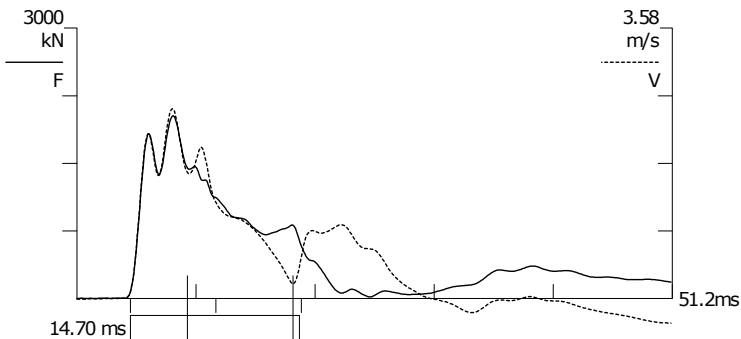
PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
TU-T1 valimittaus
Junttan HHK 5A



BN	6
	4.3.2015 9:04:31
FMX	2780 kN
RMX	712 kN
CSX	281.9 MPa
CSI	284.7 MPa
TSX	6.1 MPa
EMX	84.2 kN-m
VMX	6.92 m/s
DMX	76 mm
FVP	1.0 []
LE	30.7 m
AR	98.61 cm^2
EM	210000 MPa
SP	78.5 kN/m3
WS	5121.9 m/s
EA/C	404 kN-s/m
LP	15.0 m
F1234	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
F3:	[J372] 90.6 (1)
F4:	[6476] 95.3 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

Tampere University of Technology
Koepaalutus Tuuliharju
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®
Version 2009.098.053
TU-B1 valimittaus
Junttan HHK 5A



BN	7
4.3.2015 14:07:07	
FMX	2030 kN
RMX	488 kN
CSX	22.6 MPa
CSI	26.0 MPa
TSX	0.2 MPa
EMX	25.9 kN-m
VMX	2.52 m/s
DMX	25 mm
FVP	1.0 []
LE	25.9 m
AR	900.00 cm^2
EM	33963 MPa
SP	25.0 kN/m3
WS	3650.0 m/s
EA/C	837 kN-s/m
LP	14.0 m
F12	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)

Tampere University of Technology

Koepaalutus Tuuliharju

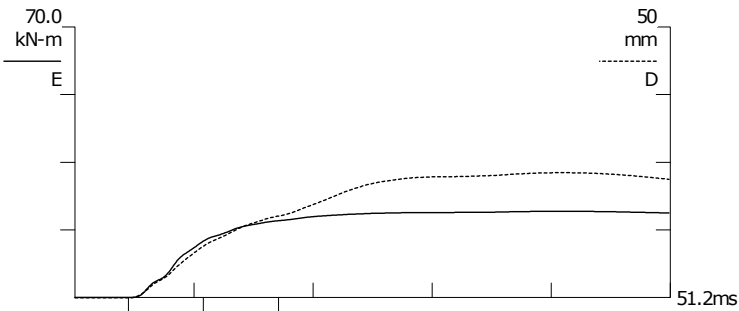
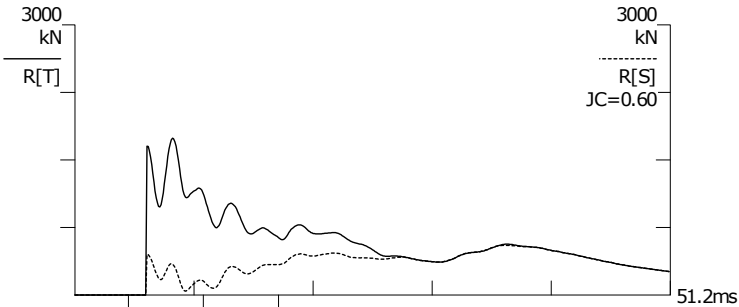
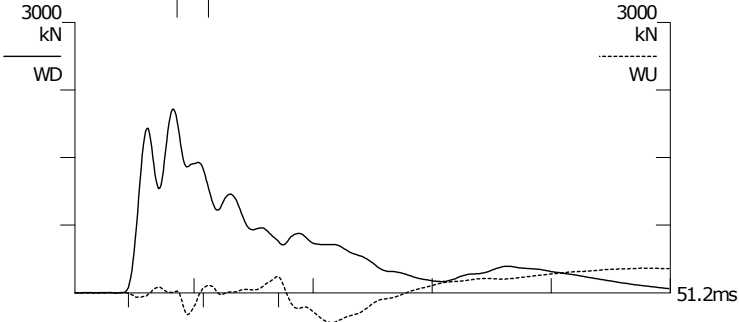
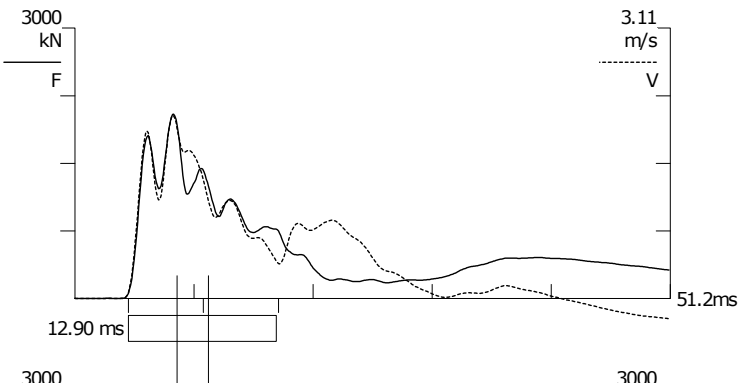
PDA OP: TRe

PILE DRIVING ANALYZER ®

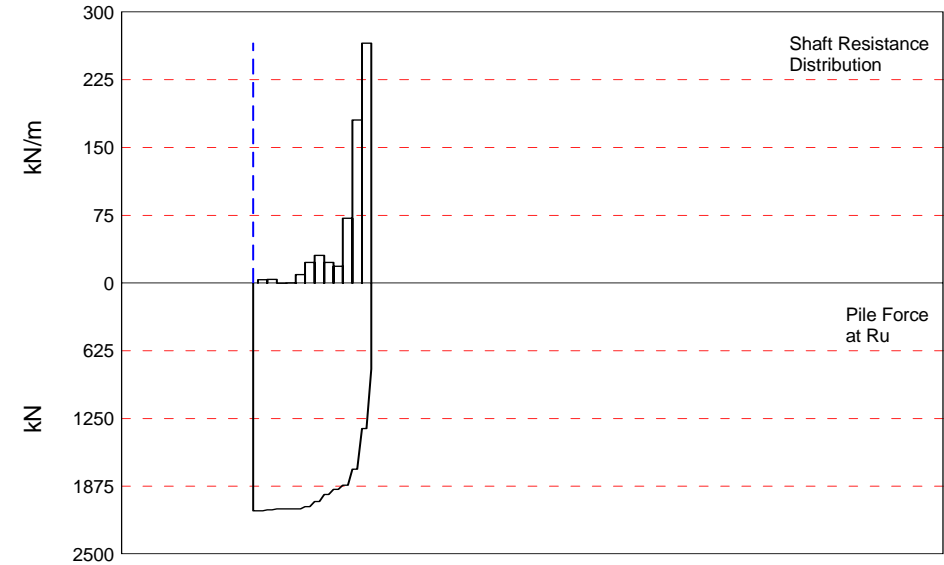
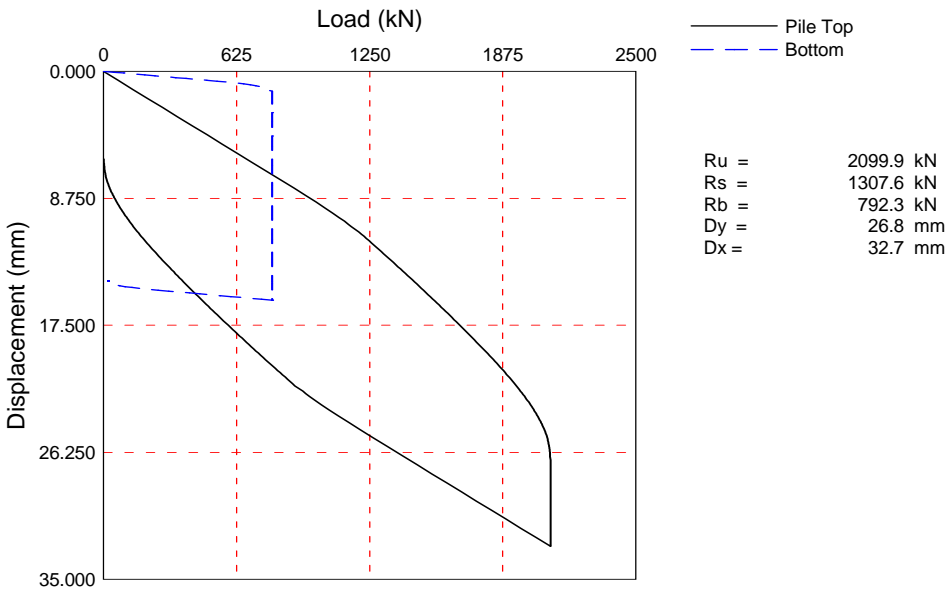
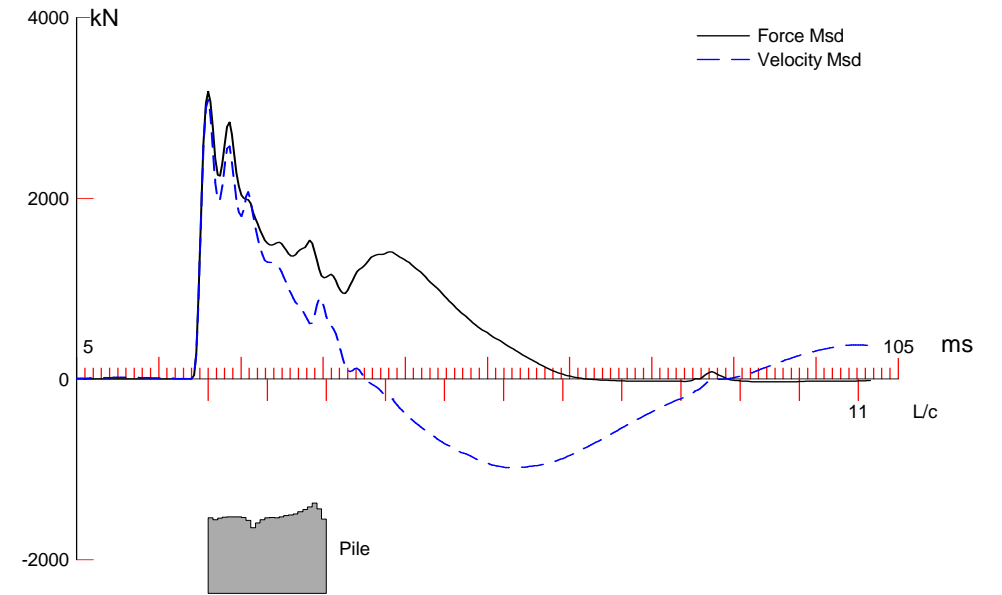
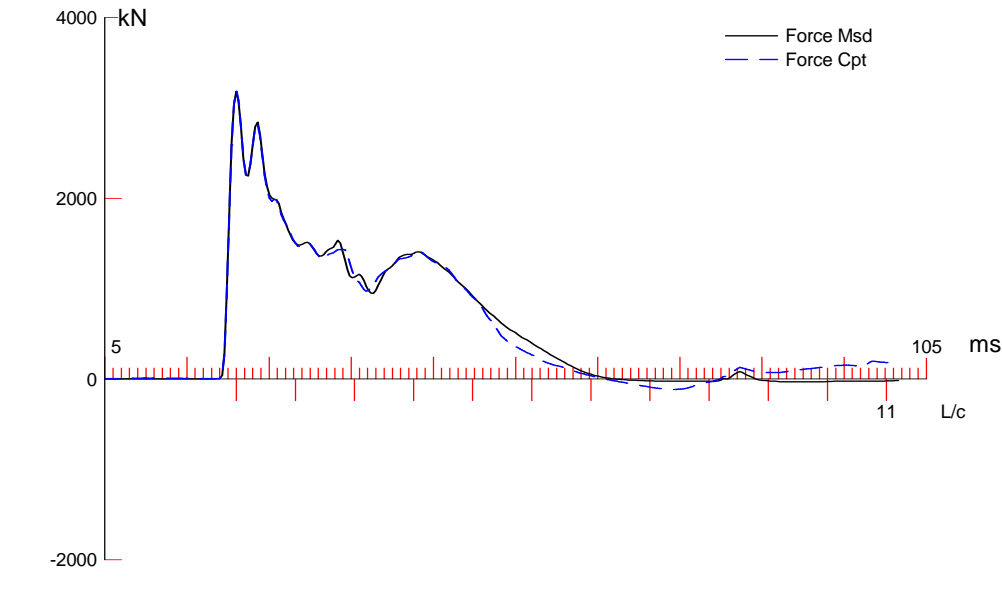
Version 2009.098.053

TU-B2 valimittaus

Junttan HHK 5A



BN	32
4.3.2015	14:52:01
FMX	2048 kN
RMX	540 kN
CSX	22.8 MPa
CSI	23.5 MPa
TSX	1.1 MPa
EMX	22.3 kN-m
VMX	2.11 m/s
DMX	23 mm
FVP	1.0 []
LE	24.0 m
AR	900.00 cm^2
EM	44969 MPa
SP	25.0 kN/m3
WS	4200.0 m/s
EA/C	964 kN-s/m
LP	15.0 m
F12	A12
F1:	[J583] 92 (1)
F2:	[J931] 91.2 (1)
A1:	[45900] 1160 g's/v (1)
A2:	[45901] 1150 g's/v (1)



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-B1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 7
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 15:11:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 2099.9; along Shaft 1307.6; at Toe 792.3 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
2099.9								
1	3.1	3.1	8.1	2091.8	8.1	2.61	2.17	0.075
2	5.2	5.2	8.8	2083.0	16.9	4.25	3.54	0.075
3	7.3	7.3	0.0	2083.0	16.9	0.00	0.00	0.000
4	9.3	9.3	0.5	2082.5	17.4	0.24	0.20	0.075
5	11.4	11.4	19.9	2062.6	37.3	9.60	8.00	0.075
6	13.5	13.5	47.4	2015.2	84.7	22.88	19.06	0.075
7	15.5	15.5	63.7	1951.5	148.4	30.74	25.62	0.075
8	17.6	17.6	47.3	1904.2	195.7	22.83	19.02	0.075
9	19.7	19.7	38.8	1865.4	234.5	18.73	15.60	0.075
10	21.8	21.8	148.8	1716.6	383.3	71.81	59.85	0.075
11	23.8	23.8	374.2	1342.4	757.5	180.60	150.50	0.075
12	25.9	25.9	550.1	792.3	1307.6	265.49	221.24	0.075
Avg. Shaft			109.0			50.49	42.07	0.075
Toe			792.3				8803.33	0.729
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			7.500	1.013		
Case Damping Factor					0.119	0.699		
Damping Type					Smith			
Unloading Quake		(% of loading quake)			100	30		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			4			
Resistance Gap (included in Toe Quake)		(mm)				0.009		
Soil Plug Weight		(kN)				0.28		
Soil Support Dashpot					0.000	3.402		
Soil Support Weight		(kN)			0.00	12.43		
CAPWAP match quality = 3.10 (Wave Up Match) ; RSA = 0								
Observed: final set		= 6.000 mm;	blow count		=	167 b/m		
Computed: final set		= 13.816 mm;	blow count		=	72 b/m		
max. Top Comp. Stress		= 36.2 MPa	(T= 21.6 ms, max= 1.045 x Top)					
max. Comp. Stress		= 37.8 MPa	(Z= 21.8 m, T= 27.9 ms)					
max. Tens. Stress		= -3.85 MPa	(Z= 19.7 m, T= 70.2 ms)					
max. Energy (EMX)		= 62.51 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=31.16 mm					

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: TU-B1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 7
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 15:11:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3257.7	-128.8	36.2	-1.43	62.51	3.7	30.700
2	2.1	3270.3	-142.1	36.3	-1.58	62.18	3.6	30.225
4	4.1	3273.7	-174.9	36.4	-1.94	61.44	3.6	29.426
6	6.2	3241.7	-208.8	36.0	-2.32	60.57	3.6	28.539
8	8.3	3068.8	-240.6	34.1	-2.67	59.84	3.8	27.571
9	9.3	3121.9	-255.0	34.7	-2.83	59.42	3.7	27.034
10	10.4	3188.1	-266.9	35.4	-2.97	58.88	3.6	26.413
11	11.4	3227.8	-279.7	35.9	-3.11	58.35	3.6	25.804
12	12.4	3229.7	-291.8	35.9	-3.24	57.35	3.6	25.213
13	13.5	3232.1	-304.2	35.9	-3.38	56.82	3.6	24.629
14	14.5	3219.4	-314.1	35.8	-3.49	55.23	3.5	24.059
15	15.5	3234.4	-325.0	35.9	-3.61	54.72	3.5	23.481
16	16.6	3216.0	-332.3	35.7	-3.69	52.85	3.5	22.918
17	17.6	3236.2	-338.9	36.0	-3.77	52.34	3.4	22.352
18	18.6	3261.9	-342.4	36.2	-3.80	50.89	3.4	21.796
19	19.7	3314.2	-346.2	36.8	-3.85	50.41	3.3	21.252
20	20.7	3359.4	-345.7	37.3	-3.84	49.25	3.3	20.749
21	21.8	3403.5	-344.7	37.8	-3.83	48.84	3.2	20.262
22	22.8	3284.4	-335.1	36.5	-3.72	46.17	3.3	19.846
23	23.8	3128.9	-331.1	34.8	-3.68	46.12	3.4	19.443
24	24.9	2942.9	-313.0	32.7	-3.48	41.08	3.5	19.146
25	25.9	2781.2	-311.4	30.9	-3.46	34.27	3.7	18.868
Absolute	21.8			37.8			(T =	27.9 ms)
	19.7				-3.85		(T =	70.2 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3367.1	3072.5	2778.0	2483.4	2188.9	1894.3	1599.8	1305.3	1010.7	716.2
RX	3379.3	3087.5	2795.7	2503.8	2257.3	2032.0	1878.7	1826.0	1776.2	1739.4
RU	3367.1	3072.5	2778.0	2483.4	2188.9	1894.3	1599.8	1305.3	1010.7	716.2

RAU = 1558.2 (kN); RA2 = 2066.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2099.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.43; J(RX) = 0.47

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.77	21.30	3116.5	3196.0	3200.8	31.160	6.020	6.000	63.0	3389.5

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	33038.8	25.000	1.200
25.90	900.00	33038.8	25.000	1.200

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-B1 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 15:11:

Junttan HHK 7A; Blow: 7

CAPWAP(R) 2006-2

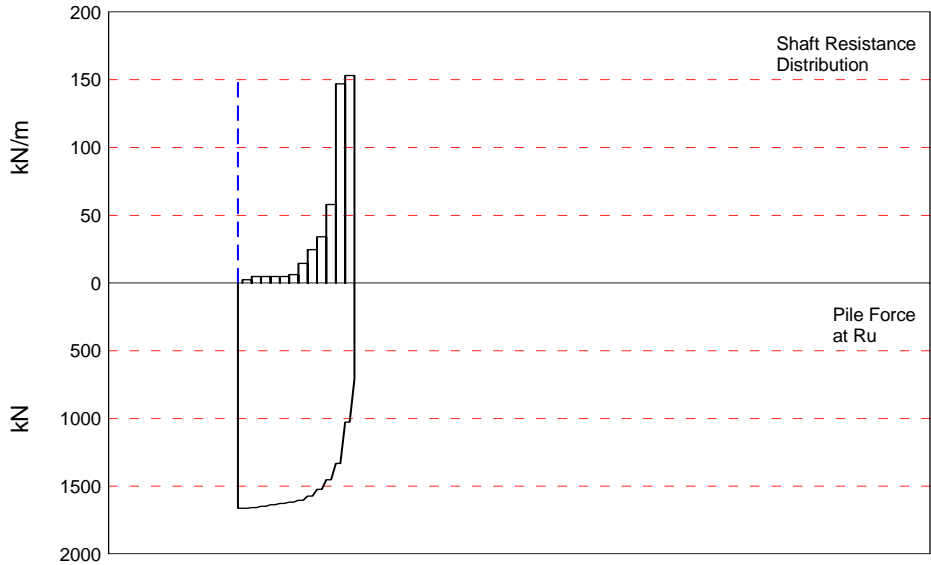
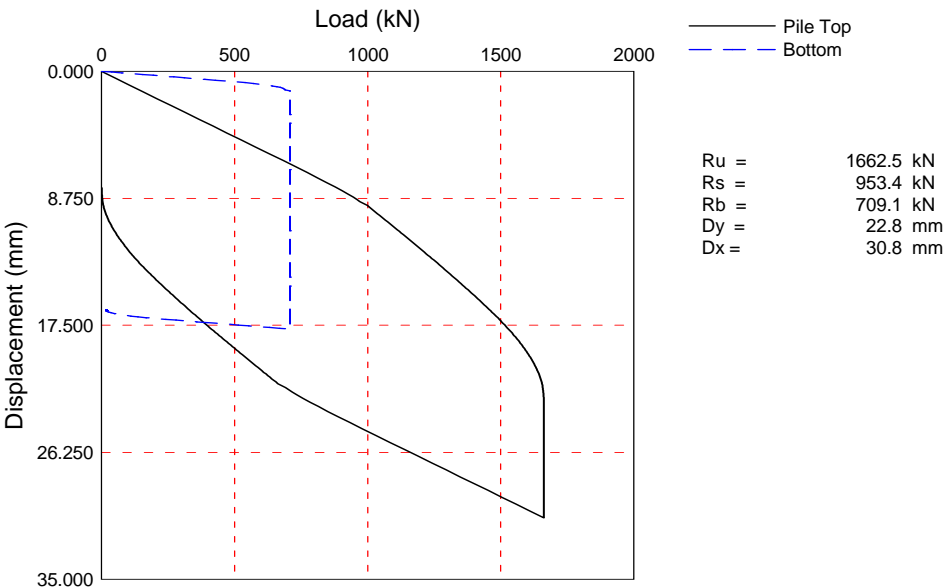
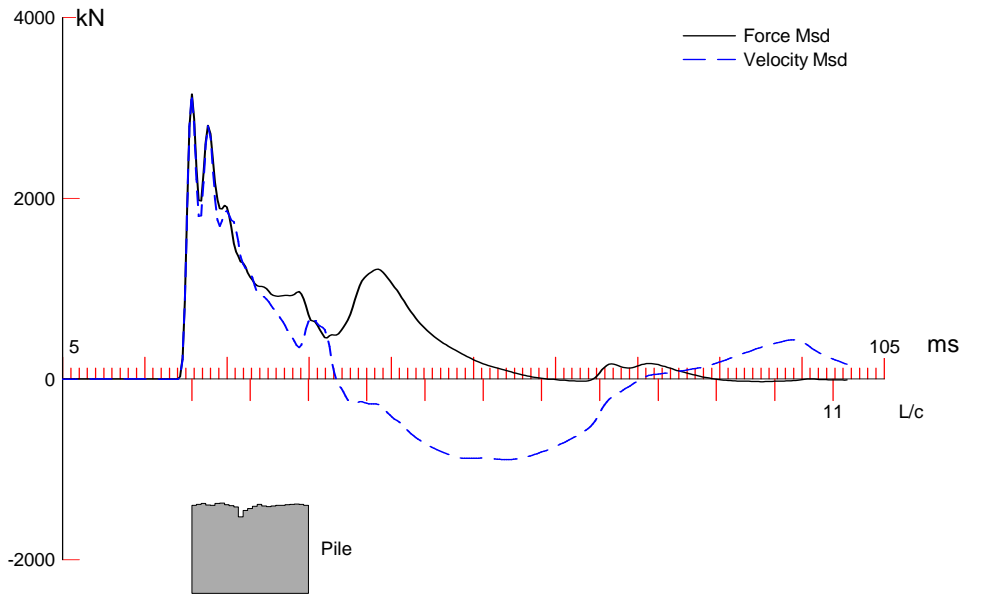
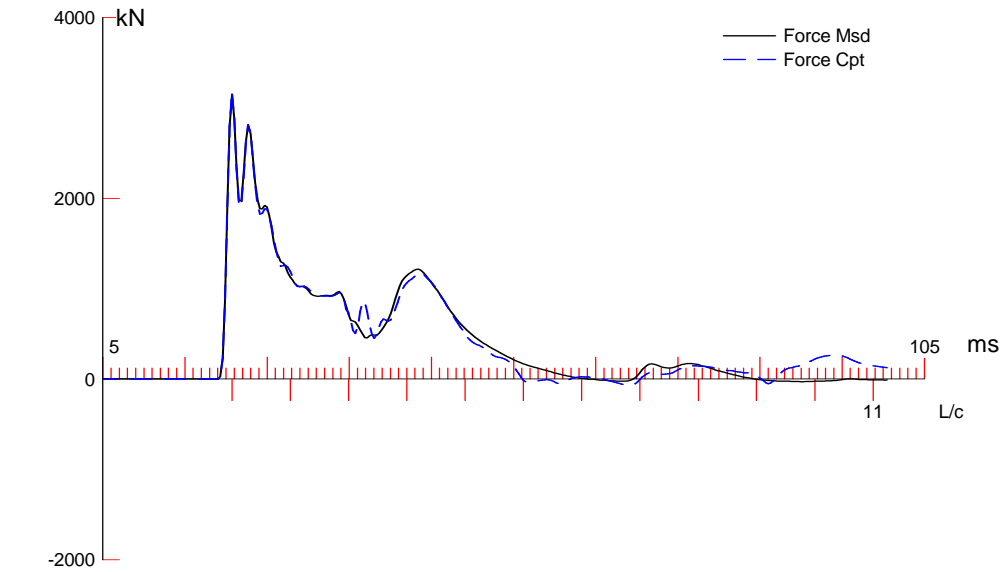
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.04	825.97	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.07	805.87	-2.43	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.21
3	3.11	821.67	-0.52	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
4	4.14	831.87	0.71	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
5	5.18	833.97	0.97	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
6	6.22	835.17	1.11	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
7	7.25	834.47	1.03	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
8	8.29	830.17	0.51	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
9	9.32	797.57	-3.44	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
10	10.36	715.97	-13.32	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
11	11.40	768.97	-6.90	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
12	12.43	805.07	-2.53	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
13	13.47	826.57	0.07	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
14	14.50	828.47	0.30	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
15	15.54	825.77	-0.02	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
16	16.58	834.77	1.07	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
17	17.61	849.47	2.85	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
18	18.65	857.87	3.86	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
19	19.68	866.07	4.85	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
20	20.72	890.47	7.81	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
21	21.76	916.07	10.91	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
22	22.79	943.87	14.27	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
23	23.83	985.67	19.33	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
24	24.86	924.17	11.89	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
25	25.90	810.27	-1.90	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.288 ms, Wave Speed 3600.0 m/s, 2L/c 14.4 ms



Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-B1 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 12
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:25:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity:			1662.5; along Shaft	953.4; at Toe	709.1	kN		
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m
				1662.5				
1	3.1	3.1	5.2	1657.3	5.2	1.67	1.39	0.184
2	5.2	5.2	10.2	1647.1	15.4	4.92	4.10	0.184
3	7.3	7.3	10.2	1636.9	25.6	4.92	4.10	0.184
4	9.3	9.3	10.2	1626.7	35.8	4.92	4.10	0.184
5	11.4	11.4	10.2	1616.5	46.0	4.92	4.10	0.184
6	13.5	13.5	12.9	1603.6	58.9	6.23	5.19	0.184
7	15.5	15.5	30.3	1573.3	89.2	14.62	12.19	0.184
8	17.6	17.6	51.1	1522.2	140.3	24.66	20.55	0.184
9	19.7	19.7	71.0	1451.2	211.3	34.27	28.56	0.184
10	21.8	21.8	120.3	1330.9	331.6	58.06	48.38	0.184
11	23.8	23.8	304.4	1026.5	636.0	146.91	122.43	0.184
12	25.9	25.9	317.4	709.1	953.4	153.19	127.65	0.184
Avg. Shaft			79.5			36.81	30.68	0.184
Toe			709.1				7878.89	0.434
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			7.500	1.021		
Case Damping Factor					0.209	0.367		
Damping Type						Smith		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			29			
Resistance Gap (included in Toe Quake)		(mm)				0.017		
Soil Plug Weight		(kN)				1.77		
Soil Support Dashpot					0.000	3.982		
Soil Support Weight		(kN)			0.00	12.43		
CAPWAP match quality		=	3.50	(Wave Up Match) ; RSA = 0				
Observed: final set		=	8.000 mm;	blow count	=	125 b/m		
Computed: final set		=	12.351 mm;	blow count	=	81 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	35.5 MPa	(T= 21.3 ms, max= 1.000 x Top)				
max. Comp. Stress		=	35.5 MPa	(Z= 1.0 m, T= 21.3 ms)				
max. Tens. Stress		=	-3.55 MPa	(Z= 17.6 m, T= 69.3 ms)				
max. Energy (EMX)		=	46.23 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=26.54 mm				

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-B1 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 12
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:25:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3198.0	-97.2	35.5	-1.08	46.23	3.7	26.074
2	2.1	3175.8	-125.9	35.3	-1.40	46.12	3.7	25.835
4	4.1	3157.9	-178.2	35.1	-1.98	45.64	3.7	25.250
6	6.2	3137.4	-219.6	34.9	-2.44	45.02	3.7	24.651
8	8.3	3061.5	-250.0	34.0	-2.78	44.33	3.7	23.971
9	9.3	2964.6	-265.0	32.9	-2.94	44.10	3.8	23.590
10	10.4	2909.3	-274.6	32.3	-3.05	43.55	3.8	23.185
11	11.4	2970.5	-284.8	33.0	-3.16	43.24	3.7	22.703
12	12.4	2986.8	-290.6	33.2	-3.23	42.65	3.6	22.247
13	13.5	3008.0	-300.7	33.4	-3.34	42.34	3.6	21.793
14	14.5	2993.6	-305.3	33.3	-3.39	41.69	3.5	21.344
15	15.5	2969.0	-314.6	33.0	-3.50	41.39	3.5	20.906
16	16.6	2935.4	-310.9	32.6	-3.45	40.36	3.5	20.480
17	17.6	2946.8	-319.6	32.7	-3.55	40.07	3.4	20.043
18	18.6	2923.4	-306.1	32.5	-3.40	38.59	3.4	19.617
19	19.7	2949.3	-311.7	32.8	-3.46	38.29	3.4	19.181
20	20.7	2919.8	-288.7	32.4	-3.21	36.44	3.4	18.756
21	21.8	2957.3	-291.1	32.9	-3.23	36.14	3.3	18.328
22	22.8	2912.5	-246.6	32.4	-2.74	33.37	3.5	17.932
23	23.8	2895.8	-246.3	32.2	-2.74	33.11	3.3	17.533
24	24.9	2409.3	-129.1	26.8	-1.43	27.08	3.6	17.283
25	25.9	2269.4	-125.9	25.2	-1.40	21.23	3.8	17.087
Absolute	1.0			35.5			(T =	21.3 ms)
	17.6				-3.55		(T =	69.3 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3218.5	2896.5	2574.5	2252.5	1930.5	1608.5	1286.5	964.5	642.5	320.5
RX	3218.5	2896.5	2574.5	2252.5	1930.5	1652.0	1607.8	1568.7	1546.7	1525.0
RU	3218.5	2896.5	2574.5	2252.5	1930.5	1608.5	1286.5	964.5	642.5	320.5

RAU = 1333.6 (kN); RA2 = 1613.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1662.5 (kN); Corresponding J(RP)= 0.48; J(RX) = 0.50

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.84	21.00	3215.8	3222.7	3222.7	26.542	8.007	8.000	46.6	2698.9

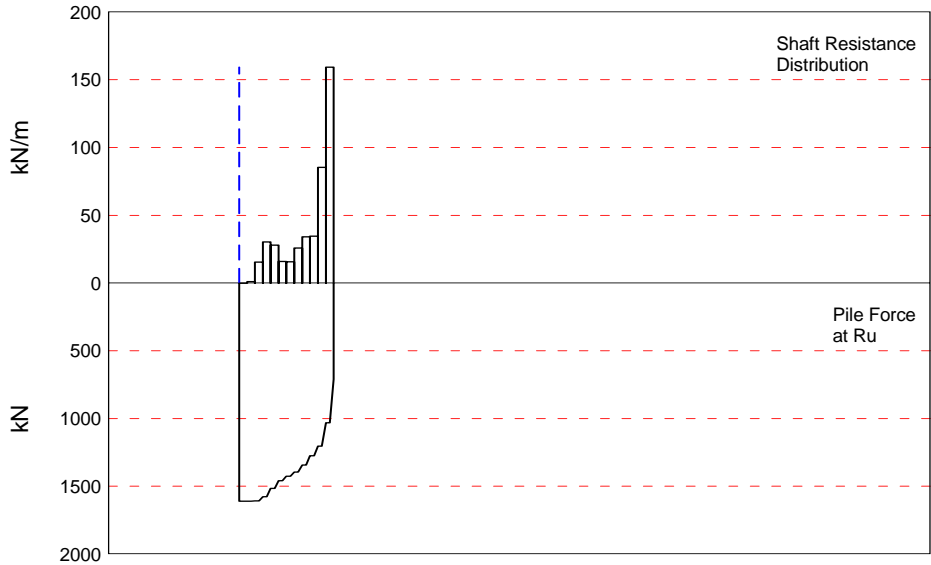
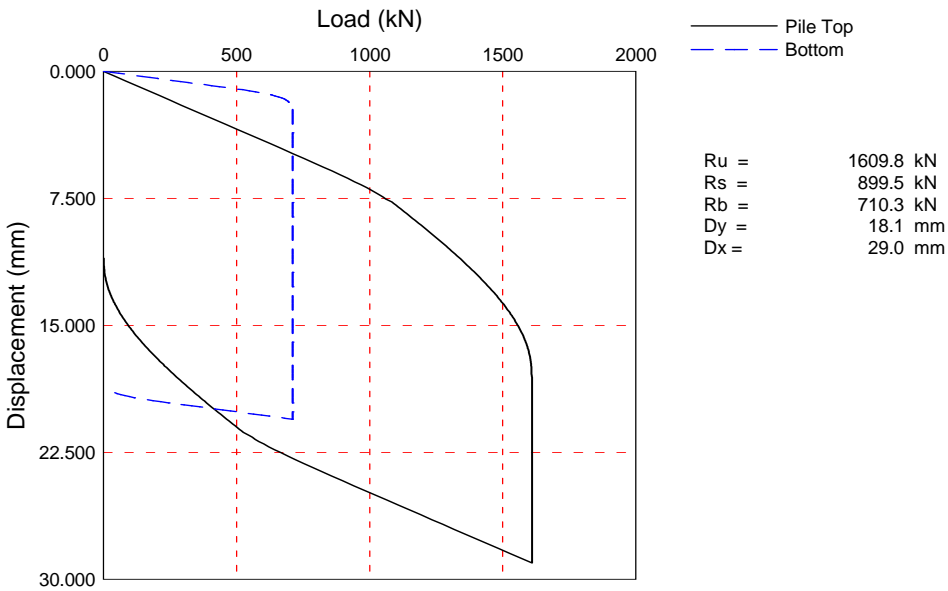
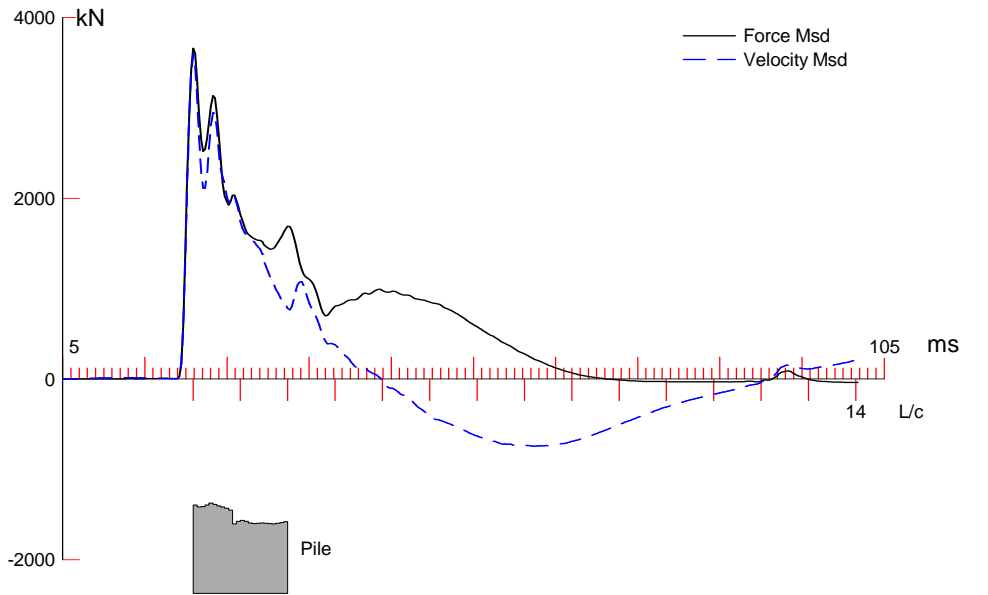
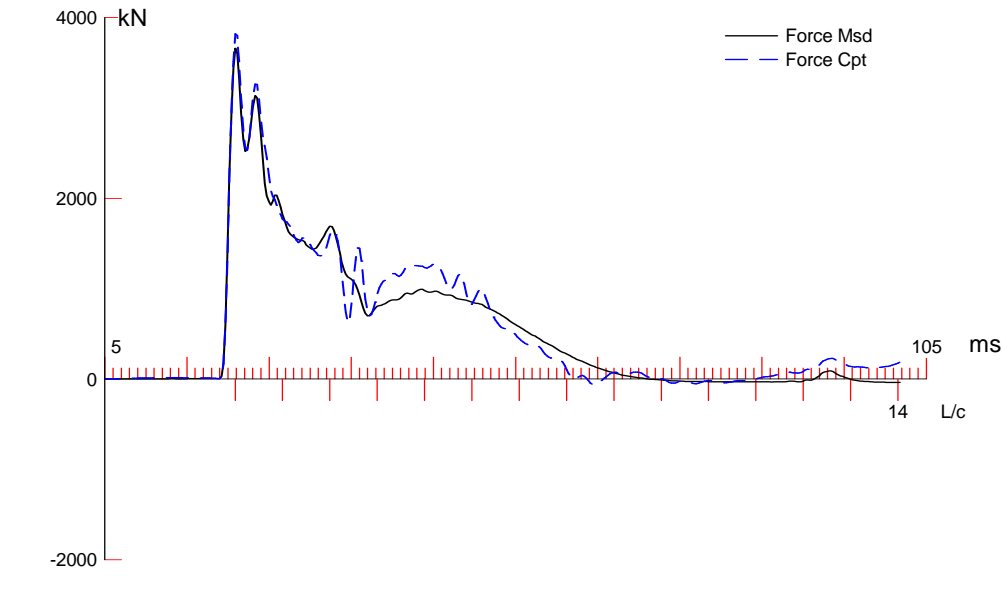
PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	33962.9	25.000	1.200
25.90	900.00	33962.9	25.000	1.200

Koepaalutus Tuuliharju; File: TU-B1 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 12
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:25:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.090		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.04	837.44	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.07	846.54	1.09	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.05
3	3.11	853.44	1.91	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
4	4.14	838.54	0.13	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
5	5.18	836.94	-0.06	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
6	6.22	853.94	1.97	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
7	7.25	856.74	2.30	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
8	8.29	842.14	0.56	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
9	9.32	831.54	-0.70	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
10	10.36	822.04	-1.84	0.000	1.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
11	11.40	726.74	-13.22	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
12	12.43	786.14	-6.13	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
13	13.47	806.14	-3.74	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
14	14.50	826.54	-1.30	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
15	15.54	844.44	0.84	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
16	16.58	830.44	-0.84	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
17	17.61	823.94	-1.61	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
18	18.65	829.64	-0.93	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
19	19.68	835.94	-0.18	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
20	20.72	836.94	-0.06	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
21	21.76	841.24	0.45	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
22	22.79	845.04	0.91	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
23	23.83	847.44	1.19	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
24	24.86	845.74	0.99	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
25	25.90	837.24	-0.02	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.03
Pile Damping		2.0 %, Time Incr		0.284 ms, Wave Speed		3650.0 m/s, 2L/c		14.2 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-B2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 5
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 15:19:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1609.8; along Shaft 899.5; at Toe 710.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1609.8				
1	2.0	2.0	0.0	1609.8	0.0	0.00	0.00	0.000
2	4.0	4.0	2.4	1607.4	2.4	1.19	0.99	0.348
3	6.0	6.1	31.0	1576.4	33.4	15.37	12.81	0.348
4	8.1	8.1	61.0	1515.4	94.4	30.25	25.21	0.348
5	10.1	10.1	56.6	1458.8	151.0	28.07	23.39	0.348
6	12.1	12.1	32.0	1426.8	183.0	15.87	13.22	0.348
7	14.1	14.1	31.9	1394.9	214.9	15.82	13.18	0.348
8	16.1	16.1	52.1	1342.8	267.0	25.83	21.53	0.348
9	18.1	18.1	69.1	1273.7	336.1	34.26	28.55	0.348
10	20.2	20.2	69.8	1203.9	405.9	34.61	28.84	0.348
11	22.2	22.2	172.4	1031.5	578.3	85.49	71.24	0.348
12	24.2	24.2	321.2	710.3	899.5	159.27	132.73	0.348
Avg. Shaft			75.0			37.17	30.97	0.348
Toe			710.3				7892.22	0.478

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.324	1.481
Case Damping Factor			0.325	0.352
Damping Type				Smith
Unloading Quake	(% of loading quake)		99	122
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		7	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			0.177
Soil Plug Weight	(kN)			3.35
Soil Support Dashpot			0.000	3.136
Soil Support Weight	(kN)		0.00	12.10

CAPWAP match quality	=	3.48	(Force Match)	; RSA = 0
Observed: final set	=	11.000 mm;	blow count	= 91 b/m
Computed: final set	=	18.096 mm;	blow count	= 55 b/m
max. Top Comp. Stress	=	42.5 MPa	(T= 21.1 ms, max= 1.028 x Top)	
max. Comp. Stress	=	43.7 MPa	(Z= 3.0 m, T= 21.8 ms)	
max. Tens. Stress	=	-1.33 MPa	(Z= 18.1 m, T= 79.2 ms)	
max. Energy (EMX)	=	65.55 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=30.47 mm	

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-B2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 5
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 15:19:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3821.1	-65.9	42.5	-0.73	65.55	3.6	30.150
2	2.0	3927.2	-58.8	43.6	-0.65	65.72	3.6	29.819
4	4.0	3915.7	-81.7	43.5	-0.91	65.24	3.6	29.144
6	6.0	3915.8	-105.5	43.5	-1.17	64.62	3.6	28.463
7	7.1	3860.4	-102.0	42.9	-1.13	63.02	3.6	28.144
8	8.1	3788.9	-105.2	42.1	-1.17	62.80	3.7	27.822
9	9.1	3574.0	-96.0	39.7	-1.07	59.96	3.8	27.502
10	10.1	3521.9	-108.6	39.1	-1.21	59.73	3.8	27.170
11	11.1	3463.4	-109.2	38.5	-1.21	57.06	3.8	26.782
12	12.1	3478.1	-118.2	38.6	-1.31	56.80	3.8	26.409
13	13.1	3422.1	-116.6	38.0	-1.30	55.28	3.8	26.080
14	14.1	3423.4	-118.1	38.0	-1.31	55.06	3.8	25.739
15	15.1	3378.0	-112.7	37.5	-1.25	53.55	3.7	25.383
16	16.1	3383.0	-117.8	37.6	-1.31	53.29	3.7	25.003
17	17.1	3335.5	-114.8	37.1	-1.28	51.06	3.7	24.638
18	18.1	3370.3	-119.7	37.4	-1.33	50.84	3.7	24.298
19	19.2	3286.7	-106.9	36.5	-1.19	48.14	3.6	24.019
20	20.2	3326.6	-104.4	37.0	-1.16	47.99	3.6	23.722
21	21.2	3280.4	-97.4	36.4	-1.08	45.29	3.5	23.466
22	22.2	3405.3	-114.4	37.8	-1.27	45.14	3.3	23.221
23	23.2	3020.4	-77.8	33.6	-0.86	39.08	3.6	23.024
24	24.2	2778.1	-89.5	30.9	-0.99	27.63	3.9	22.842
Absolute	3.0			43.7			(T =	21.8 ms)
	18.1				-1.33		(T =	79.2 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3754.3	3396.7	3039.1	2681.5	2323.9	1966.3	1608.7	1251.1	893.5	535.8
RX	3754.3	3396.7	3039.1	2681.5	2323.9	1966.3	1608.7	1316.2	1269.3	1258.6
RU	3754.3	3396.7	3039.1	2681.5	2323.9	1966.3	1608.7	1251.1	893.5	535.8

RAU = 1241.2 (kN); RA2 = 1747.0 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1609.8 (kN); Corresponding J(RP)= 0.60; J(RX) = 0.60

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.77	21.13	3628.5	3701.8	3701.8	30.465	11.011	11.000	64.4	3108.6

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	44969.5	25.000	1.200
24.20	900.00	44969.5	25.000	1.200

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-B2 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 15:19:

Junttan HHK 7A; Blow: 5

CAPWAP(R) 2006-2

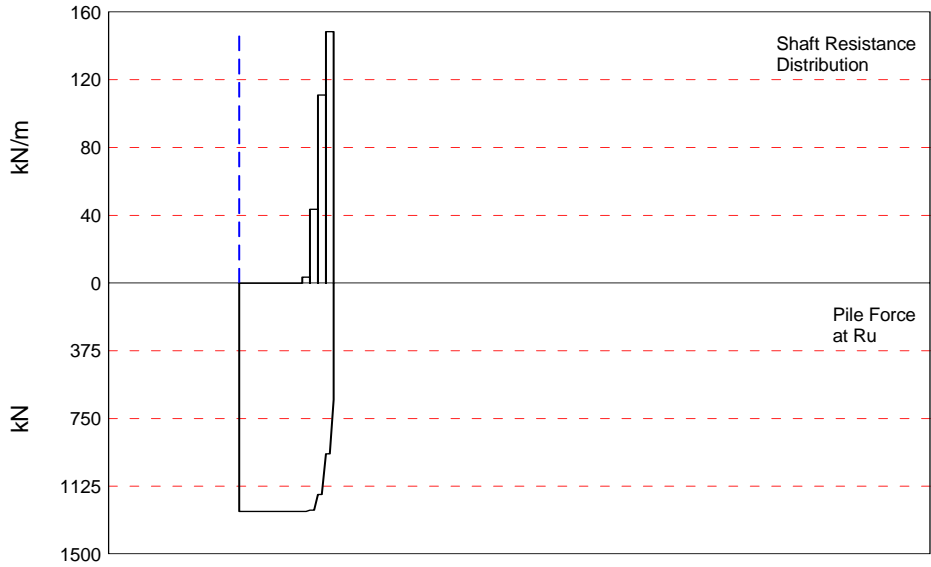
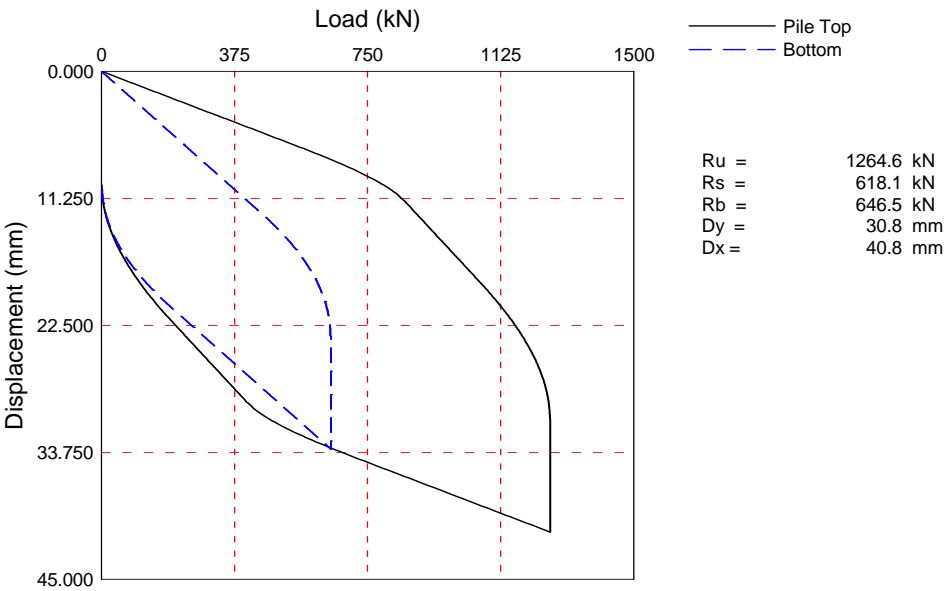
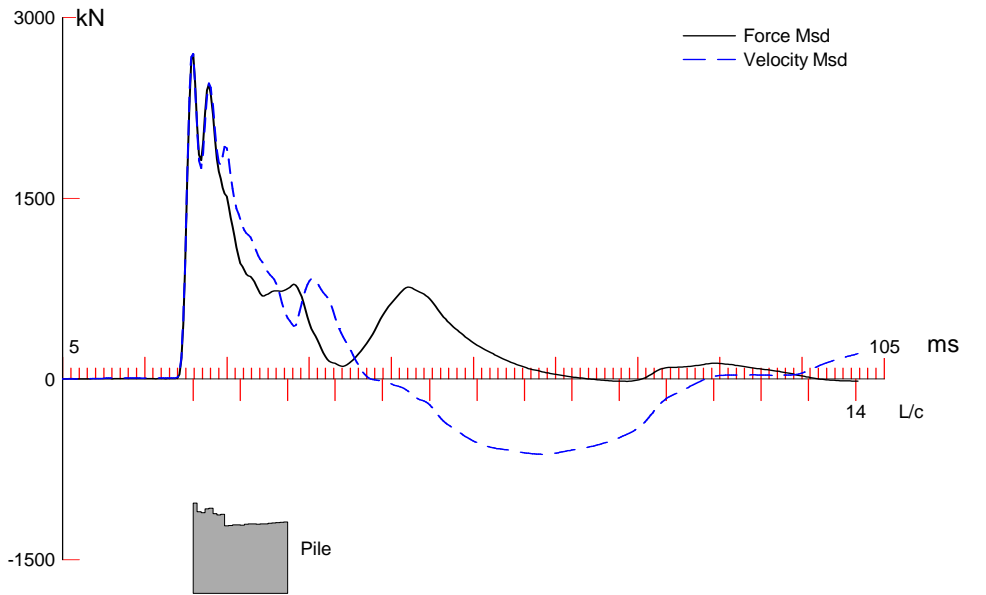
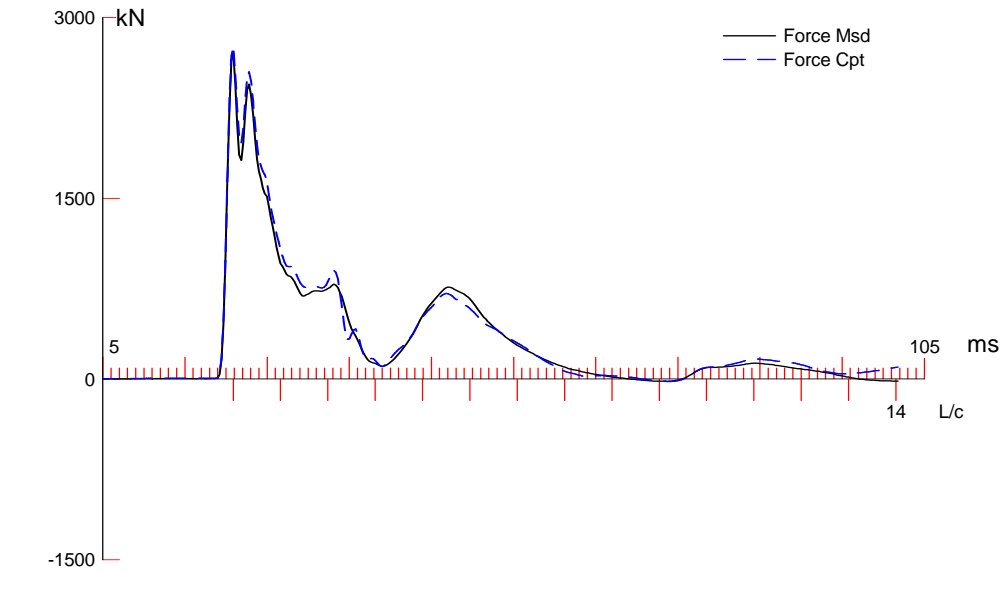
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.01	963.63	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.02	944.03	-2.03	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.34
3	3.02	945.43	-1.89	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
4	4.03	964.33	0.07	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
5	5.04	984.83	2.20	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
6	6.05	973.43	1.02	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
7	7.06	954.33	-0.97	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
8	8.07	942.33	-2.21	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
9	9.07	928.63	-3.63	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
10	10.08	909.13	-5.66	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
11	11.09	758.93	-21.24	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
12	12.10	787.63	-18.26	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
13	13.11	795.93	-17.40	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
14	14.12	785.03	-18.53	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
15	15.12	768.23	-20.28	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
16	16.13	760.33	-21.10	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
17	17.14	765.13	-20.60	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
18	18.15	769.63	-20.13	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
19	19.16	764.43	-20.67	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
20	20.17	761.03	-21.02	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
21	21.17	759.43	-21.19	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
22	22.18	764.03	-20.71	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
23	23.19	773.03	-19.78	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
24	24.20	781.93	-18.86	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.240 ms, Wave Speed 4200.0 m/s, 2L/c 11.5 ms



Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-B2 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 5
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:17:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity:			1264.6; along Shaft		618.1; at Toe		646.5 kN		
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				1264.6					
1	2.0	2.0	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.703
2	4.0	4.0	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
3	6.0	6.1	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
4	8.1	8.1	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
5	10.1	10.1	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
6	12.1	12.1	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
7	14.1	14.1	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
8	16.1	16.1	0.0	1264.6	0.0	0.00	0.00	0.000	6.704
9	18.1	18.1	7.2	1257.4	7.2	3.57	2.98	1.008	5.953
10	20.2	20.2	87.9	1169.5	95.1	43.59	36.32	1.008	5.564
11	22.2	22.2	223.9	945.6	319.0	111.02	92.52	1.008	5.238
12	24.2	24.2	299.1	646.5	618.1	148.31	123.60	1.008	5.059
Avg. Shaft			51.5			25.54	21.28	1.008	5.206
Toe			646.5				7183.33	0.220	18.046
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						0.647	0.148		
Unloading Quake			(% of loading quake)			300	59		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			48			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							3.044		
Soil Plug Weight			(kN)				0.71		
Soil Support Dashpot						0.300	10.000		
Soil Support Weight			(kN)			12.10	12.10		
CAPWAP match quality			=	2.99	(Wave Up Match) ; RSA = 0				
Observed: final set			=	10.000 mm;	blow count	=	100 b/m		
Computed: final set			=	7.302 mm;	blow count	=	137 b/m		
max. Top Comp. Stress			=	31.6 MPa	(T= 21.4 ms, max= 1.011 x Top)				
max. Comp. Stress			=	32.0 MPa	(Z= 3.0 m, T= 21.8 ms)				
max. Tens. Stress			=	-1.94 MPa	(Z= 20.2 m, T= 75.9 ms)				
max. Energy (EMX)			=	32.53 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=24.51 mm				

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-B2 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 5
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:17:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2846.5	-30.0	31.6	-0.33	32.53	2.7	23.250
2	2.0	2843.5	-38.5	31.6	-0.43	32.51	2.7	23.162
4	4.0	2855.2	-62.4	31.7	-0.69	32.51	2.7	22.977
6	6.0	2759.1	-86.6	30.7	-0.96	32.49	2.7	22.763
7	7.1	2685.8	-98.2	29.8	-1.09	32.48	2.8	22.638
8	8.1	2643.0	-110.5	29.4	-1.23	32.46	2.9	22.505
9	9.1	2639.3	-121.5	29.3	-1.35	32.41	2.9	22.337
10	10.1	2612.2	-130.8	29.0	-1.45	32.37	2.9	22.161
11	11.1	2638.6	-137.7	29.3	-1.53	32.32	2.9	21.978
12	12.1	2652.7	-144.9	29.5	-1.61	32.27	2.9	21.785
13	13.1	2646.3	-151.7	29.4	-1.69	32.20	2.8	21.579
14	14.1	2632.5	-156.3	29.2	-1.74	32.12	2.9	21.360
15	15.1	2654.9	-161.4	29.5	-1.79	32.04	2.9	21.131
16	16.1	2656.3	-165.2	29.5	-1.84	31.95	2.8	20.891
17	17.1	2634.3	-168.0	29.3	-1.87	31.86	2.8	20.646
18	18.1	2712.2	-170.6	30.1	-1.90	31.78	2.8	20.404
19	19.2	2707.7	-172.6	30.1	-1.92	31.34	2.8	20.169
20	20.2	2761.0	-174.4	30.7	-1.94	31.29	2.9	19.936
21	21.2	2649.9	-159.9	29.4	-1.78	27.52	3.1	19.722
22	22.2	2771.5	-161.6	30.8	-1.80	27.44	2.8	19.502
23	23.2	2084.0	-110.2	23.2	-1.22	19.73	2.8	19.291
24	24.2	1609.9	-112.4	17.9	-1.25	10.27	3.3	19.072
Absolute	3.0			32.0			(T =	21.8 ms)
	20.2				-1.94		(T =	75.9 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2684.5	2399.8	2115.0	1830.2	1545.5	1260.7	976.0	691.2	406.4	121.7
RX	2684.5	2399.8	2115.0	1830.2	1545.5	1260.7	979.9	958.4	937.0	915.5
RU	2684.5	2399.8	2115.0	1830.2	1545.5	1260.7	976.0	691.2	406.4	121.7

RAU = 870.7 (kN); RA2 = 1023.3 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1264.6 (kN); Corresponding J(RP)= 0.50; J(RX) = 0.50

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
2.88	21.13	2773.0	2759.1	2759.1	24.514	10.011	10.000	32.7	1894.6

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	44969.5	25.000	1.200
24.20	900.00	44969.5	25.000	1.200

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-B2 24h

Test: 05-Mar-2015 10:17:

Junttan HHK 5A; Blow: 5

CAPWAP(R) 2006-2

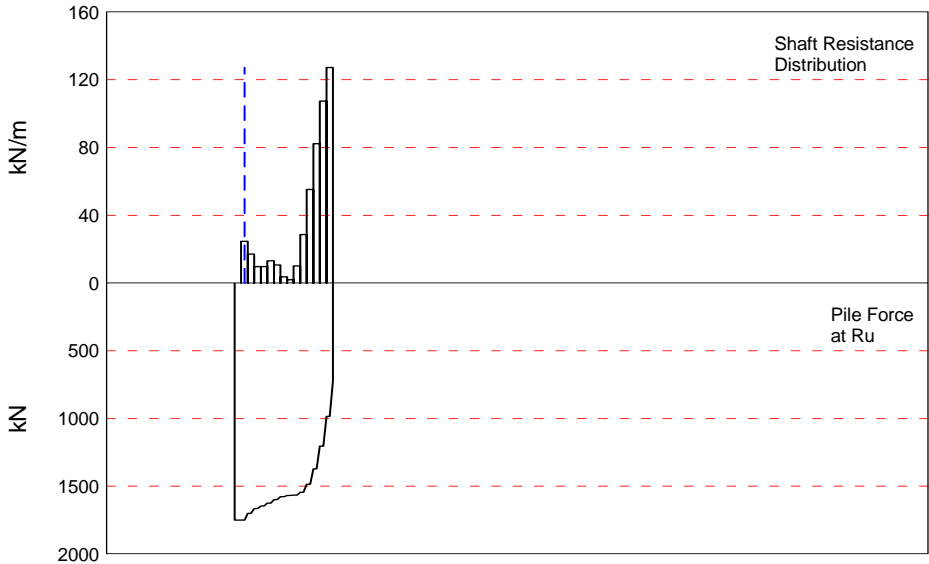
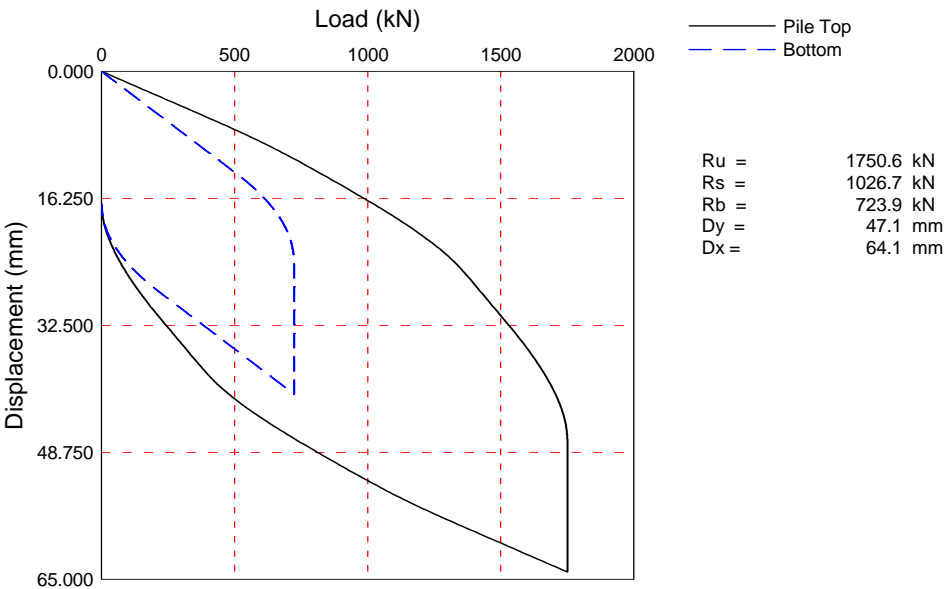
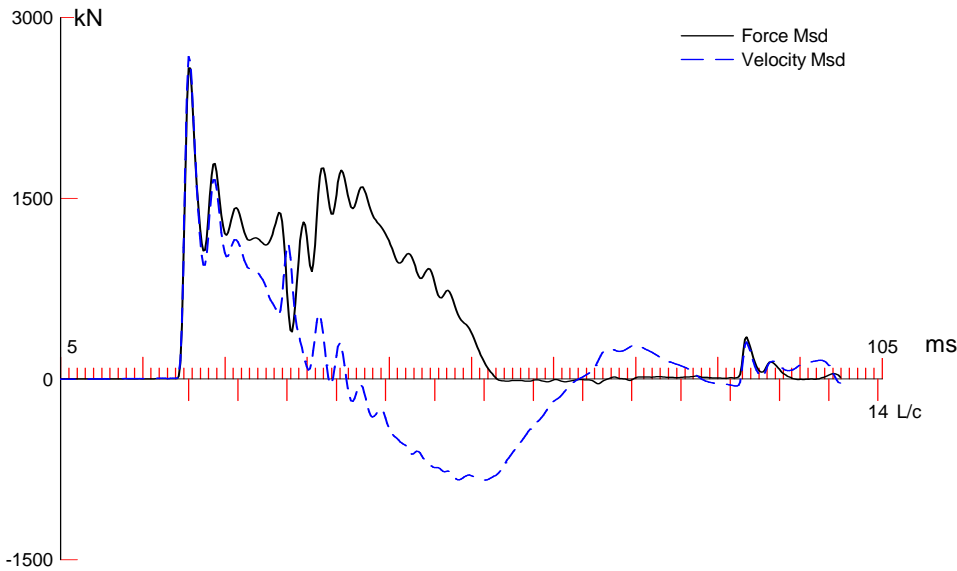
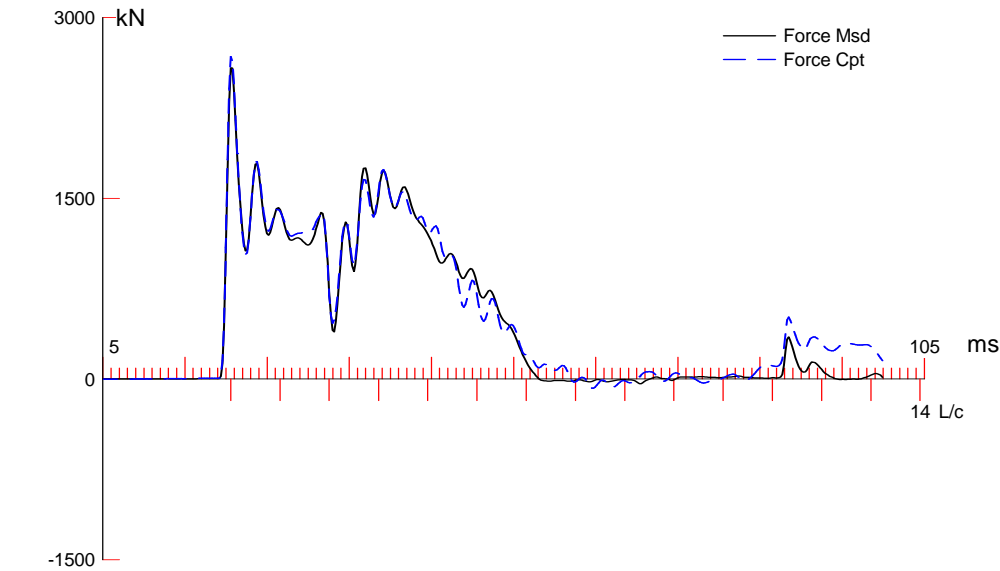
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.01	963.63	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.02	872.93	-9.41	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.51
3	3.02	861.33	-10.62	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
4	4.03	901.53	-6.44	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
5	5.04	910.23	-5.54	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
6	6.05	852.23	-11.56	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
7	7.06	837.03	-13.14	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
8	8.07	843.63	-12.45	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
9	9.07	722.13	-25.06	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
10	10.08	725.43	-24.72	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
11	11.09	732.73	-23.96	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
12	12.10	733.13	-23.92	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
13	13.11	727.73	-24.48	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
14	14.12	739.43	-23.27	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
15	15.12	743.33	-22.86	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
16	16.13	740.93	-23.11	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
17	17.14	740.23	-23.18	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
18	18.15	741.03	-23.10	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
19	19.16	741.43	-23.06	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
20	20.17	748.63	-22.31	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
21	21.17	754.23	-21.73	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
22	22.18	756.53	-21.49	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
23	23.19	758.13	-21.33	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52
24	24.20	761.93	-20.93	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.52

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.240 ms, Wave Speed 4200.0 m/s, 2L/c 11.5 ms



Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T1 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 828
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 09:23:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 1750.6; along Shaft 1026.7; at Toe 723.9 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1750.6				
1	4.1	0.4	50.4	1700.2	50.4	128.14	125.92	0.143
2	6.1	2.4	35.0	1665.2	85.4	17.10	16.81	0.143
3	8.2	4.5	20.1	1645.1	105.5	9.82	9.65	0.143
4	10.2	6.5	20.1	1625.0	125.6	9.82	9.65	0.143
5	12.3	8.6	26.8	1598.2	152.4	13.09	12.87	0.143
6	14.3	10.6	21.8	1576.4	174.2	10.65	10.47	0.143
7	16.4	12.7	7.6	1568.8	181.8	3.71	3.65	0.143
8	18.4	14.7	4.1	1564.7	185.9	2.00	1.97	0.143
9	20.5	16.8	20.7	1544.0	206.6	10.11	9.94	0.143
10	22.5	18.8	58.4	1485.6	265.0	28.53	28.04	0.143
11	24.6	20.9	113.0	1372.6	378.0	55.21	54.26	0.143
12	26.6	22.9	168.5	1204.1	546.5	82.33	80.91	0.143
13	28.7	25.0	219.9	984.2	766.4	107.44	105.59	0.143
14	30.7	27.0	260.3	723.9	1026.7	127.18	124.99	0.143
Avg. Shaft			73.3			38.03	37.37	0.143
Toe			723.9				8785.50	0.160
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			7.044	18.676		
Case Damping Factor					0.363	0.286		
Unloading Quake		(% of loading quake)			127	149		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			32			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)						8.488		
Soil Plug Weight		(kN)				0.25		
Soil Support Dashpot					8.300	10.000		
Soil Support Weight		(kN)			10.41	10.41		
CAPWAP match quality		=	1.95 (Force Match)		; RSA = 0			
Observed: final set		=	17.000 mm; blow count		= 59 b/m			
Computed: final set		=	9.902 mm; blow count		= 101 b/m			
max. Top Comp. Stress		=	271.5 MPa (T= 20.8 ms, max= 1.010 x Top)					
max. Comp. Stress		=	274.1 MPa (Z= 4.1 m, T= 21.6 ms)					
max. Tens. Stress		=	-26.57 MPa (Z= 22.5 m, T= 62.7 ms)					
max. Energy (EMX)		=	61.37 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=42.41 mm					

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T1 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 828
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 09:23:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2677.1	-77.3	271.5	-7.84	61.37	6.6	41.608
2	2.0	2678.8	-89.6	271.6	-9.09	61.20	6.6	40.806
4	4.1	2703.5	-109.9	274.1	-11.14	59.90	6.5	39.208
6	6.1	2654.8	-133.8	269.2	-13.56	56.05	6.4	37.650
8	8.2	2618.2	-133.7	265.5	-13.56	53.08	6.4	36.098
10	10.2	2600.8	-146.6	263.7	-14.87	50.93	6.4	34.573
12	12.3	2586.0	-175.7	262.2	-17.82	48.94	6.3	33.121
14	14.3	2560.0	-169.7	259.6	-17.21	46.62	6.3	31.858
16	16.4	2532.9	-195.5	256.8	-19.82	44.85	6.2	30.590
18	18.4	2523.5	-209.8	255.9	-21.27	43.56	6.2	29.204
19	19.4	2525.4	-218.8	256.1	-22.19	42.89	6.2	28.492
20	20.5	2538.5	-224.7	257.4	-22.79	42.37	6.2	27.781
21	21.5	2529.4	-242.0	256.5	-24.54	41.13	6.1	27.084
22	22.5	2557.4	-262.0	259.3	-26.57	40.63	6.0	26.384
23	23.5	2515.0	-246.1	255.0	-24.96	38.19	6.0	25.709
24	24.6	2559.9	-246.8	259.6	-25.03	37.71	5.9	25.026
25	25.6	2465.2	-195.1	250.0	-19.78	33.74	5.8	24.385
26	26.6	2523.7	-204.6	255.9	-20.75	33.32	5.6	23.741
27	27.6	2361.1	-160.2	239.4	-16.24	28.18	5.5	23.181
28	28.7	2330.2	-165.5	236.3	-16.78	27.96	5.8	22.627
29	29.7	1756.0	-93.6	178.1	-9.49	21.80	7.0	22.196
30	30.7	1316.7	-95.0	133.5	-9.63	14.41	7.6	21.756
Absolute	4.1			274.1			(T =	21.6 ms)
	22.5				-26.57		(T =	62.7 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2444.9	2155.5	1866.2	1576.9	1287.5	998.2	708.9	419.6	130.2	0.0
RX	2444.9	2155.5	1866.2	1798.8	1751.1	1740.4	1735.4	1730.5	1725.5	1720.5
RU	2444.9	2155.5	1866.2	1576.9	1287.5	998.2	708.9	419.6	130.2	0.0

RAU = 1523.5 (kN); RA2 = 1831.9 (kN)

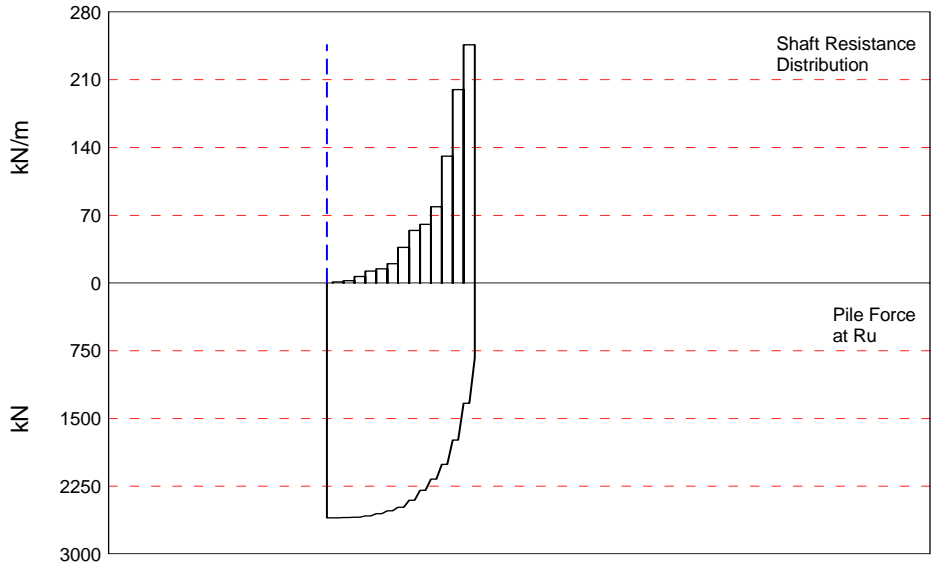
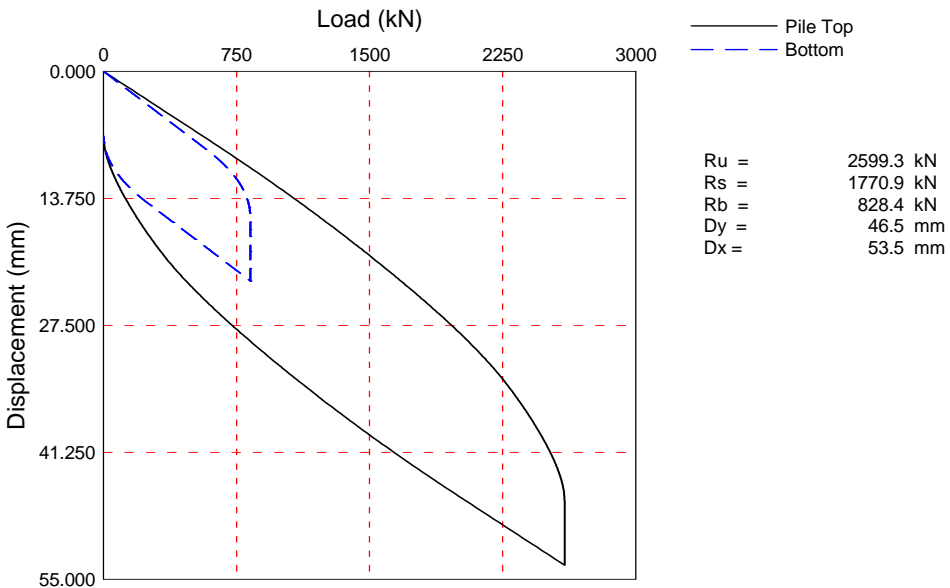
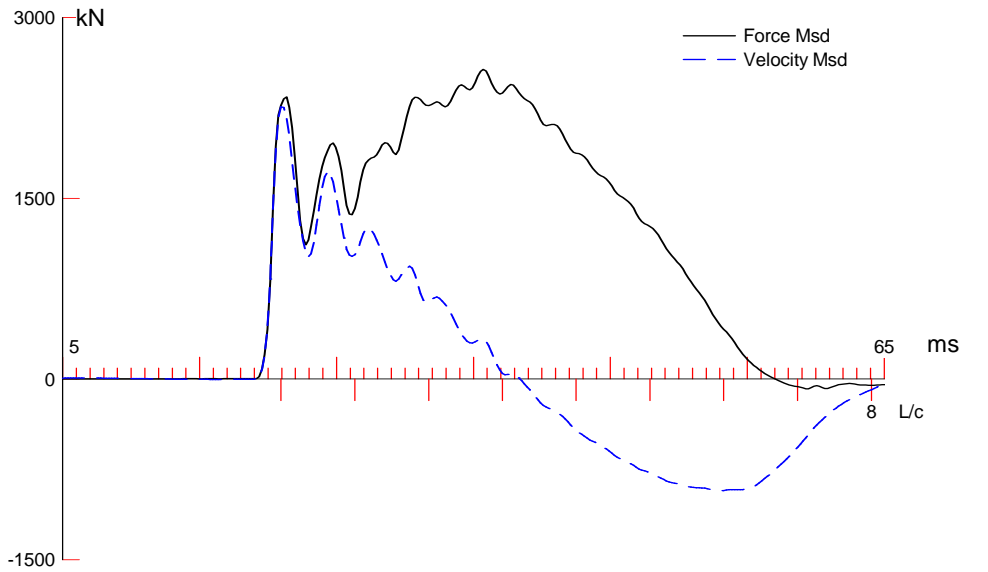
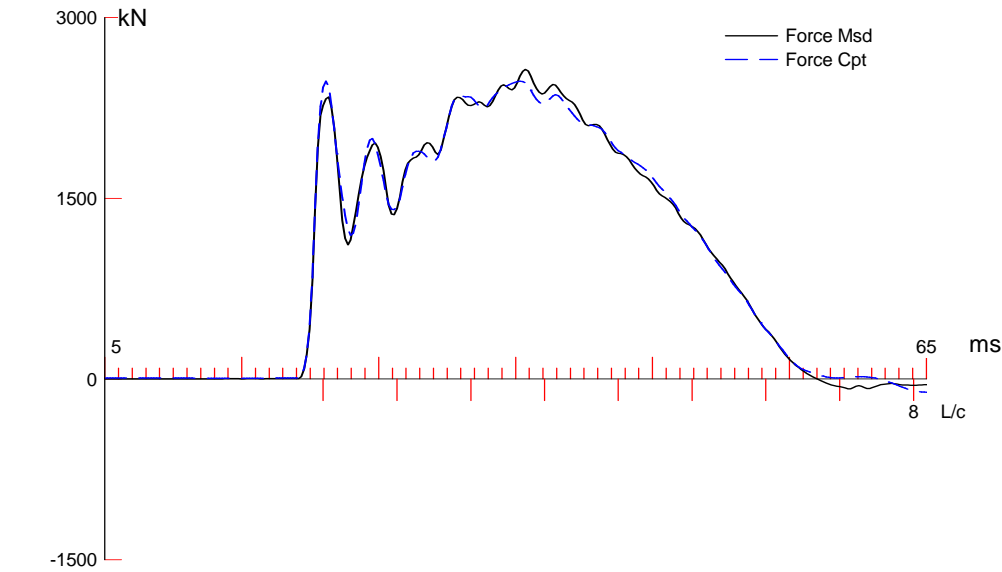
Current CAPWAP Ru = 1750.6 (kN); Corresponding J(RP)= 0.24; J(RX) = 0.40

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.72	20.78	2716.5	2621.6	2634.9	42.407	16.721	17.000	61.5	2069.3

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T1 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 828
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 09:23:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
30.70	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.02 m,	Top Impedance 404.32 kN/m/s	
Pile Damping		1.0 %, Time Incr 0.200 ms,	Wave Speed 5121.9 m/s, 2L/c 12.0 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 9
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 2599.3; along Shaft 1770.9; at Toe 828.4 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2599.3				
1	3.1	3.1	2.4	2596.9	2.4	0.78	0.77	0.378
2	5.1	5.1	5.1	2591.8	7.5	2.49	2.45	0.378
3	7.2	7.2	14.0	2577.8	21.5	6.85	6.73	0.378
4	9.2	9.2	25.2	2552.6	46.7	12.33	12.11	0.378
5	11.2	11.2	30.3	2522.3	77.0	14.82	14.56	0.378
6	13.3	13.3	41.3	2481.0	118.3	20.20	19.85	0.378
7	15.3	15.3	75.8	2405.2	194.1	37.08	36.44	0.378
8	17.4	17.4	111.0	2294.2	305.1	54.29	53.36	0.378
9	19.4	19.4	124.5	2169.7	429.6	60.90	59.85	0.378
10	21.5	21.5	161.2	2008.5	590.8	78.85	77.49	0.378
11	23.5	23.5	268.1	1740.4	858.9	131.14	128.87	0.378
12	25.6	25.6	408.5	1331.9	1267.4	199.81	196.36	0.378
13	27.6	27.6	503.5	828.4	1770.9	246.28	242.03	0.378
Avg. Shaft			136.2			64.16	63.06	0.378
Toe			828.4				10053.75	0.158
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			6.444	12.076		
Case Damping Factor					1.655	0.324		
Unloading Quake		(% of loading quake)			94	80		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			25			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)						1.015		
Soil Support Dashpot					3.800	0.000		
Soil Support Weight		(kN)			10.40	0.00		
CAPWAP match quality		=	1.49	(Force Match)	; RSA = 0			
Observed: final set		=	7.000 mm;	blow count	=	143 b/m		
Computed: final set		=	5.379 mm;	blow count	=	186 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	250.7 MPa	(T=	35.5 ms, max= 1.076 x Top)			
max. Comp. Stress		=	269.7 MPa	(Z=	9.2 m, T= 32.7 ms)			
max. Tens. Stress		=	-30.47 MPa	(Z=	15.3 m, T= 61.3 ms)			
max. Energy (EMX)		=	78.02 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=41.73 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: TU-T1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 9
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2472.3	-110.8	250.7	-11.24	78.02	5.5	40.581
2	2.0	2492.9	-133.0	252.8	-13.49	77.02	5.5	39.433
4	4.1	2541.8	-152.3	257.8	-15.44	74.05	5.5	37.123
6	6.1	2566.7	-165.3	260.3	-16.76	70.80	5.5	34.773
8	8.2	2607.1	-195.2	264.4	-19.80	67.02	5.4	32.428
10	10.2	2650.6	-229.9	268.8	-23.31	62.67	5.3	30.082
12	12.3	2588.4	-260.2	262.5	-26.39	58.27	5.2	27.764
13	13.3	2582.7	-282.9	261.9	-28.69	56.90	5.1	26.621
14	14.3	2551.3	-281.6	258.7	-28.56	53.64	5.0	25.495
15	15.3	2593.3	-300.5	263.0	-30.47	52.30	4.9	24.363
16	16.4	2528.1	-279.8	256.4	-28.38	48.00	4.8	23.265
17	17.4	2550.0	-298.0	258.6	-30.22	46.73	4.6	22.165
18	18.4	2407.9	-264.1	244.2	-26.78	41.78	4.5	21.115
19	19.4	2403.5	-279.5	243.7	-28.34	40.63	4.3	20.070
20	20.4	2242.8	-236.4	227.4	-23.97	35.97	4.1	19.103
21	21.5	2253.6	-248.4	228.5	-25.18	35.01	3.9	18.150
22	22.5	2080.2	-192.3	210.9	-19.50	30.23	3.7	17.271
23	23.5	2146.1	-204.5	217.6	-20.73	29.41	3.4	16.390
24	24.5	1828.5	-112.0	185.4	-11.36	23.60	3.2	15.613
25	25.6	1834.4	-120.6	186.0	-12.23	22.99	3.2	14.848
26	26.6	1412.8	-5.2	143.3	-0.53	16.21	3.4	14.232
27	27.6	1414.8	-6.7	143.5	-0.68	8.38	3.3	13.617
Absolute	9.2			269.7			(T =	32.7 ms)
	15.3				-30.47		(T =	61.3 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3084.9	2938.6	2792.2	2645.9	2499.6	2353.3	2206.9	2060.6	1914.3	1768.0
RX	3117.1	2967.4	2817.6	2710.8	2640.4	2592.7	2549.8	2506.8	2466.4	2434.0
RU	3084.9	2938.6	2792.2	2645.9	2499.6	2353.3	2206.9	2060.6	1914.3	1768.0

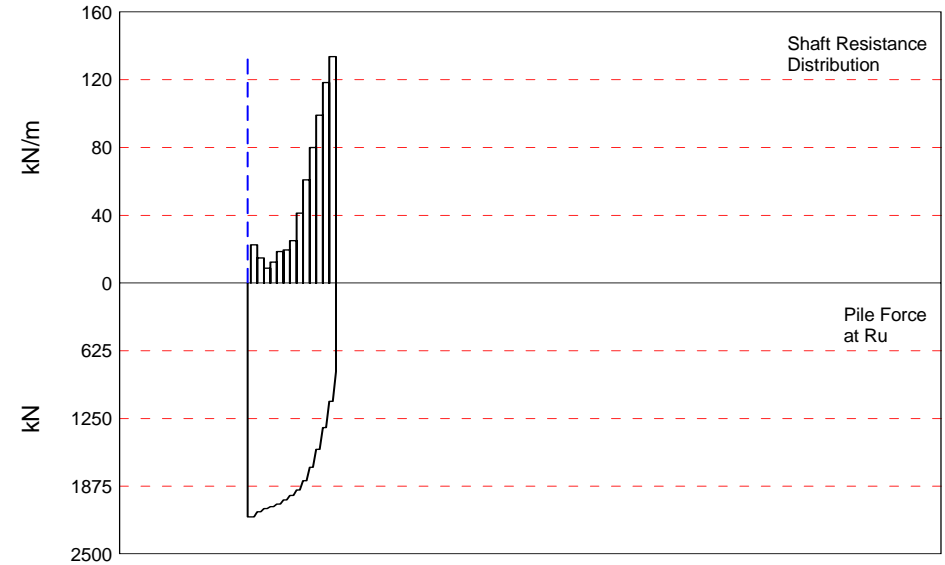
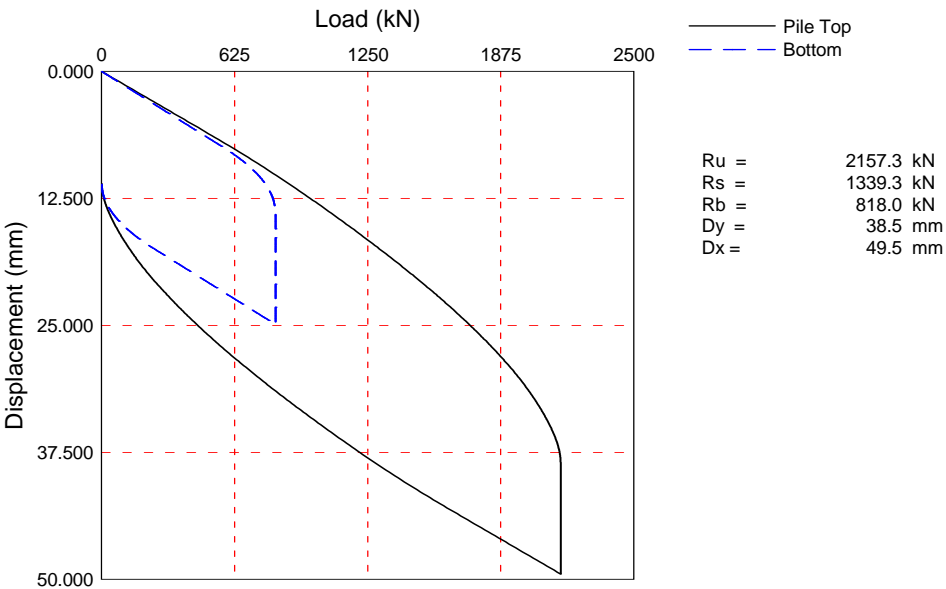
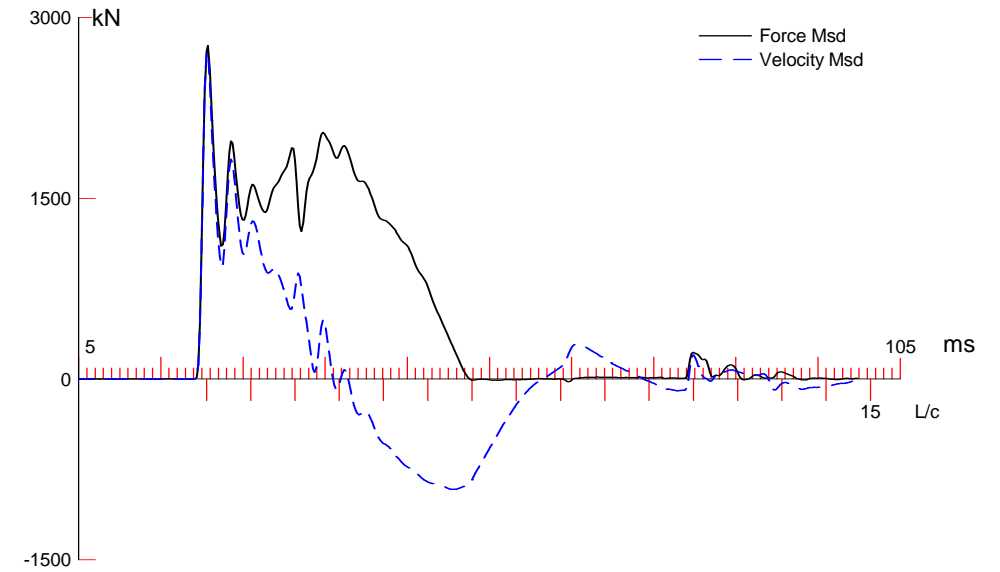
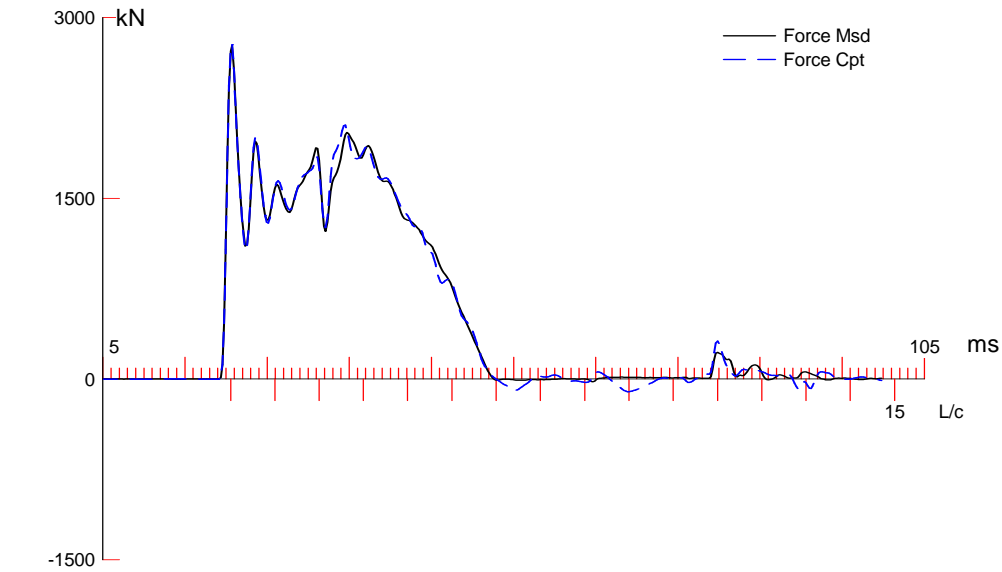
RAU = 644.2 (kN); RA2 = 2029.5 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2599.3 (kN); Corresponding J(RP)= 0.33; J(RX) = 0.49

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.63	21.16	2276.5	2271.6	2575.5	41.725	7.106	7.000	79.2	3251.8

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.60	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T1 14 vrk					Test: 18-Mar-2015 14:33:				
Junttan HHK 7A; Blow: 9					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.09
27	27.60	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.09
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.200 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 10.8 ms		



Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T1 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 9
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 11:02:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2157.3; along Shaft 1339.3; at Toe 818.0 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2157.3				
1	3.1	2.5	46.1	2111.2	46.1	18.69	18.37	0.116
2	5.1	4.5	30.2	2081.0	76.3	14.77	14.52	0.116
3	7.2	6.6	18.0	2063.0	94.3	8.80	8.65	0.116
4	9.2	8.6	25.5	2037.5	119.8	12.47	12.26	0.116
5	11.2	10.6	37.9	1999.6	157.7	18.54	18.22	0.116
6	13.3	12.7	40.2	1959.4	197.9	19.66	19.32	0.116
7	15.3	14.7	51.4	1908.0	249.3	25.14	24.71	0.116
8	17.4	16.8	84.5	1823.5	333.8	41.33	40.62	0.116
9	19.4	18.8	124.5	1699.0	458.3	60.90	59.85	0.116
10	21.5	20.9	163.4	1535.6	621.7	79.92	78.54	0.116
11	23.5	22.9	202.5	1333.1	824.2	99.05	97.34	0.116
12	25.6	25.0	241.8	1091.3	1066.0	118.27	116.23	0.116
13	27.6	27.0	273.3	818.0	1339.3	133.68	131.37	0.116
Avg. Shaft			103.0			49.60	48.75	0.116
Toe			818.0				9927.27	0.245

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.032	10.691
Case Damping Factor			0.384	0.495
Unloading Quake	(% of loading quake)		154	41
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		49	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			0.022
Soil Plug Weight	(kN)			0.50
Soil Support Dashpot			2.886	3.588
Soil Support Weight	(kN)		10.40	10.40

CAPWAP match quality = 1.61 (Force Match) ; RSA = 0
Observed: final set = 11.000 mm; blow count = 91 b/m
Computed: final set = 11.033 mm; blow count = 91 b/m
max. Top Comp. Stress = 281.5 MPa (T= 21.0 ms, max= 1.017 x Top)
max. Comp. Stress = 286.2 MPa (Z= 3.1 m, T= 21.6 ms)
max. Tens. Stress = -23.33 MPa (Z= 15.3 m, T= 58.3 ms)
max. Energy (EMX) = 68.34 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=39.99 mm

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T1 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 9
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 11:02:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2775.7	-105.1	281.5	-10.66	68.34	6.6	39.059
2	2.0	2803.9	-134.6	284.3	-13.65	67.99	6.6	38.127
4	4.1	2777.2	-138.3	281.6	-14.02	64.01	6.6	36.239
6	6.1	2759.5	-149.0	279.8	-15.11	61.08	6.6	34.476
8	8.2	2754.7	-168.7	279.3	-17.11	58.61	6.5	32.650
10	10.2	2744.9	-194.9	278.3	-19.76	55.85	6.5	30.795
12	12.3	2722.2	-200.8	276.0	-20.36	52.89	6.4	29.036
13	13.3	2734.3	-218.2	277.3	-22.13	52.10	6.4	28.164
14	14.3	2699.4	-210.1	273.7	-21.30	50.00	6.4	27.305
15	15.3	2714.6	-230.0	275.3	-23.33	49.22	6.3	26.438
16	16.4	2674.3	-216.7	271.2	-21.97	46.89	6.3	25.598
17	17.4	2697.8	-229.7	273.6	-23.29	46.19	6.2	24.774
18	18.4	2631.6	-206.6	266.9	-20.95	43.18	6.1	23.988
19	19.4	2663.9	-223.0	270.1	-22.61	42.50	6.0	23.175
20	20.4	2566.7	-202.7	260.3	-20.55	38.81	5.9	22.491
21	21.5	2606.6	-217.9	264.3	-22.09	38.36	5.8	21.837
22	22.5	2483.3	-196.2	251.8	-19.89	34.10	5.7	21.230
23	23.5	2529.8	-202.3	256.5	-20.52	33.66	5.5	20.598
24	24.5	2382.4	-181.9	241.6	-18.44	29.04	5.4	20.049
25	25.6	2458.8	-185.8	249.3	-18.84	28.74	5.2	19.521
26	26.6	2147.4	-176.6	217.8	-17.91	24.37	5.8	19.164
27	27.6	1791.1	-180.6	181.6	-18.32	19.99	6.5	18.814
Absolute	3.1			286.2			(T =	21.6 ms)
	15.3				-23.33		(T =	58.3 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3281.3	3053.6	2825.8	2598.1	2370.4	2142.7	1914.9	1687.2	1459.5	1231.8
RX	3281.3	3053.6	2825.8	2598.1	2370.4	2205.4	2104.2	2052.4	2004.9	1960.7
RU	3281.3	3053.6	2825.8	2598.1	2370.4	2142.7	1914.9	1687.2	1459.5	1231.8

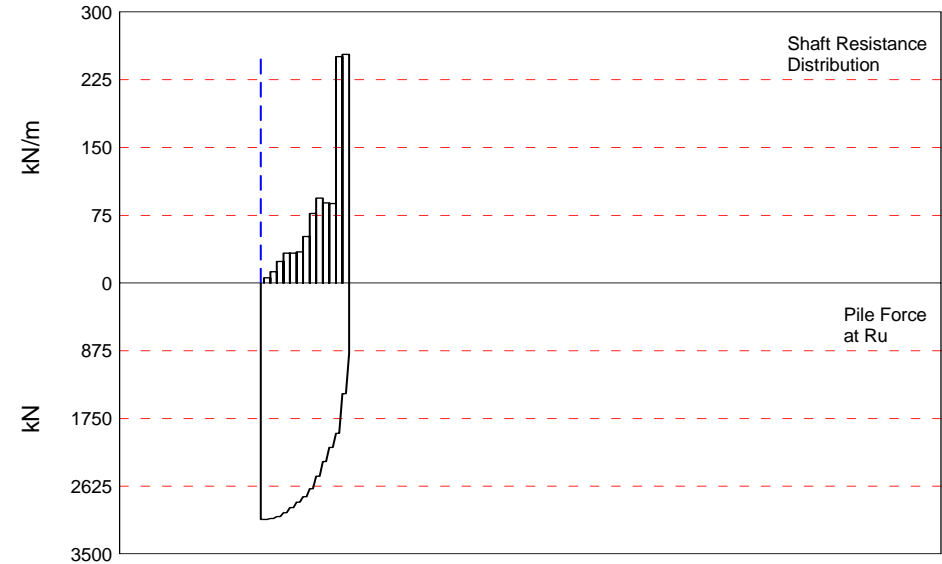
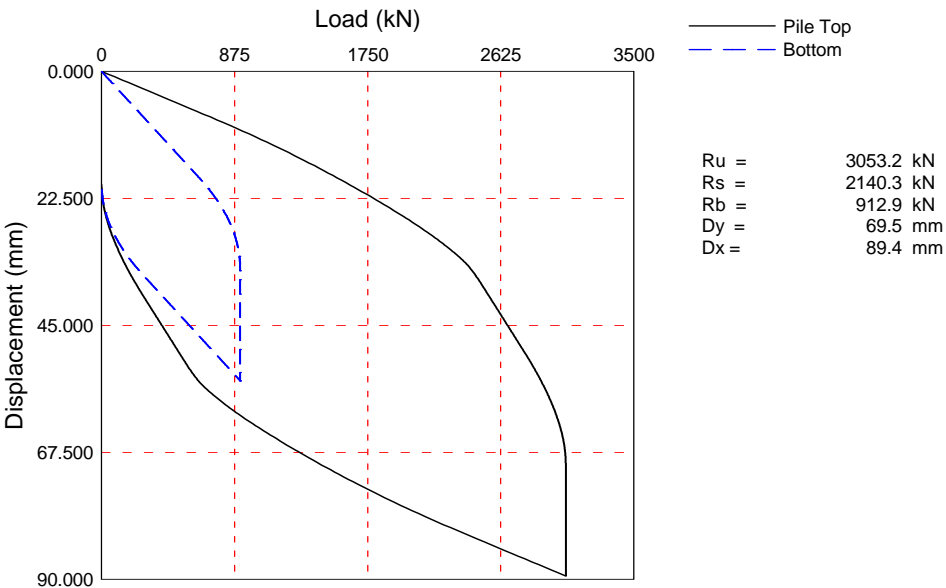
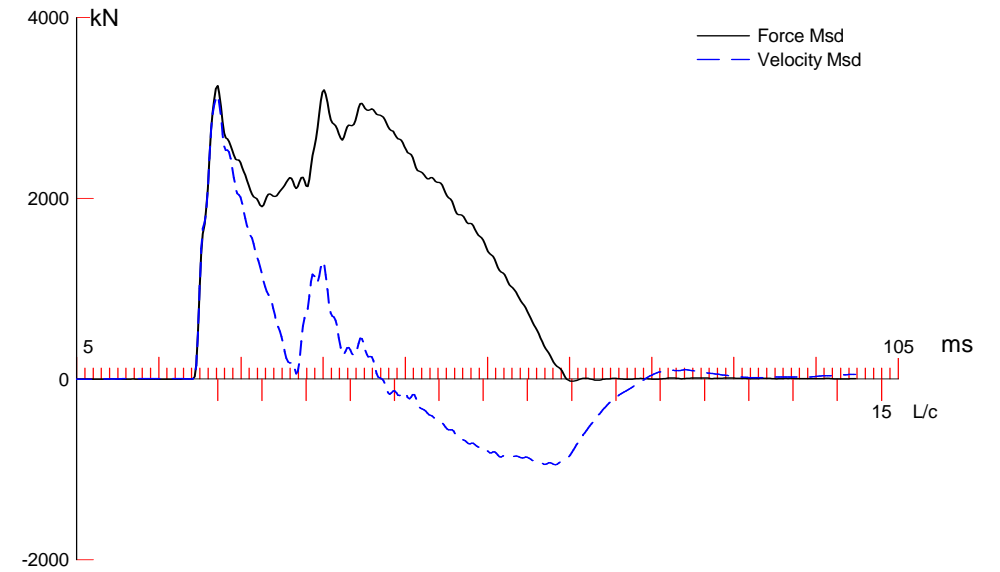
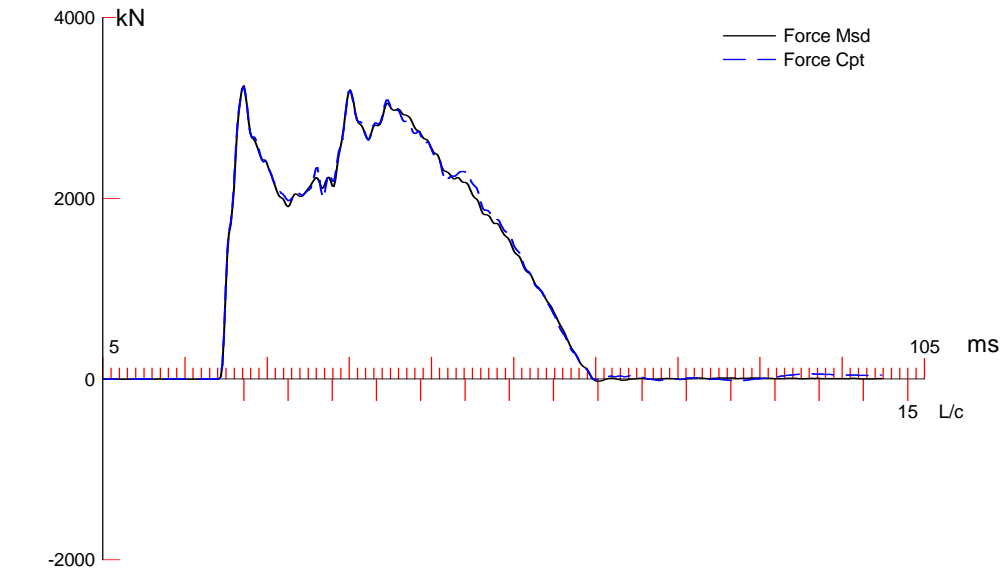
RAU = 1833.7 (kN); RA2 = 2100.9 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2157.3 (kN); Corresponding J(RP)= 0.49; J(RX) = 0.55

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.85	20.76	2769.3	2789.2	2817.1	39.989	10.998	11.000	69.5	2725.5

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.60	98.61	210000.0	78.500	1.018

Koepaalutus Tuuliharju; File: TU-T1 24h					Test: 05-Mar-2015 11:02:				
Junttan HHK 5A; Blow: 9					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.04
3	3.07	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.03
27	27.60	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.03
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.200 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		
							10.8 ms		



Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T1
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 24
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:01:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 3053.2; along Shaft 2140.3; at Toe 912.9 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				3053.2				
1	3.1	3.1	11.8	3041.4	11.8	3.85	3.78	0.153
2	5.1	5.1	25.6	3015.8	37.4	12.52	12.31	0.153
3	7.2	7.2	49.3	2966.5	86.7	24.11	23.70	0.153
4	9.2	9.2	67.8	2898.7	154.5	33.16	32.59	0.153
5	11.2	11.2	67.7	2831.0	222.2	33.11	32.54	0.153
6	13.3	13.3	70.6	2760.4	292.8	34.53	33.94	0.153
7	15.3	15.3	105.5	2654.9	398.3	51.60	50.71	0.153
8	17.4	17.4	157.9	2497.0	556.2	77.23	75.90	0.153
9	19.4	19.4	192.6	2304.4	748.8	94.21	92.58	0.153
10	21.5	21.5	181.8	2122.6	930.6	88.92	87.39	0.153
11	23.5	23.5	179.7	1942.9	1110.3	87.90	86.38	0.153
12	25.6	25.6	512.6	1430.3	1622.9	250.73	246.40	0.153
13	27.6	27.6	517.4	912.9	2140.3	253.08	248.71	0.153
Avg. Shaft			164.6			77.55	76.21	0.153
Toe			912.9				11079.27	0.088

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.499	26.779
Case Damping Factor			0.810	0.199
Unloading Quake	(% of loading quake)		145	50
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		10	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				5.889
Soil Plug Weight	(kN)			2.14
Soil Support Dashpot			4.000	0.000
Soil Support Weight	(kN)		10.40	0.00

CAPWAP match quality	=	1.83	(Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set	=	20.000 mm;	blow count = 50 b/m
Computed: final set	=	15.036 mm;	blow count = 67 b/m
max. Top Comp. Stress	=	329.7 MPa	(T= 35.5 ms, max= 1.057 x Top)
max. Comp. Stress	=	348.5 MPa	(Z= 7.2 m, T= 36.7 ms)
max. Tens. Stress	=	-27.53 MPa	(Z= 19.4 m, T= 69.1 ms)
max. Energy (EMX)	=	147.60 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=60.10 mm

Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T1
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 24
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:01:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3251.1	-32.1	329.7	-3.25	147.60	7.8	58.186
2	2.0	3304.4	-60.6	335.1	-6.15	145.59	7.7	56.773
4	4.1	3346.9	-94.2	339.4	-9.55	140.61	7.6	53.981
6	6.1	3398.9	-136.4	344.7	-13.83	134.84	7.5	51.284
8	8.2	3398.5	-159.9	344.6	-16.22	128.16	7.3	48.868
10	10.2	3379.0	-179.1	342.6	-18.16	120.35	7.1	46.417
12	12.3	3302.0	-214.2	334.8	-21.72	112.93	6.9	43.985
13	13.3	3313.1	-235.4	336.0	-23.87	111.39	6.7	42.751
14	14.3	3245.6	-236.4	329.1	-23.97	105.61	6.6	41.531
15	15.3	3255.3	-261.3	330.1	-26.50	104.00	6.4	40.274
16	16.4	3134.6	-252.5	317.9	-25.61	96.61	6.2	39.034
17	17.4	3155.3	-267.9	320.0	-27.17	95.01	6.0	37.780
18	18.4	2955.7	-249.9	299.7	-25.34	85.62	5.8	36.585
19	19.4	3033.4	-271.5	307.6	-27.53	84.16	5.6	35.387
20	20.4	2827.3	-235.6	286.7	-23.89	74.12	5.3	34.290
21	21.5	3051.4	-244.4	309.4	-24.78	72.90	5.0	33.194
22	22.5	2846.8	-221.8	288.7	-22.50	64.33	4.6	32.268
23	23.5	2774.5	-236.7	281.4	-24.00	63.43	4.9	31.329
24	24.5	2390.8	-203.8	242.4	-20.67	55.59	5.0	30.477
25	25.6	2340.2	-222.0	237.3	-22.51	54.86	4.9	29.626
26	26.6	1739.2	-126.7	176.4	-12.85	36.61	5.3	28.970
27	27.6	1715.0	-130.8	173.9	-13.26	18.00	5.4	28.300
Absolute	7.2			348.5			(T =	36.7 ms)
	19.4				-27.53		(T =	69.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2891.8	2805.6	2719.5	2633.4	2547.3	2461.1	2375.0	2288.9	2202.8	2116.6
RX	3931.1	3686.3	3441.4	3316.6	3227.1	3137.7	3049.8	2965.1	2901.9	2881.6
RU	2891.8	2805.6	2719.5	2633.4	2547.3	2461.1	2375.0	2288.9	2202.8	2116.6

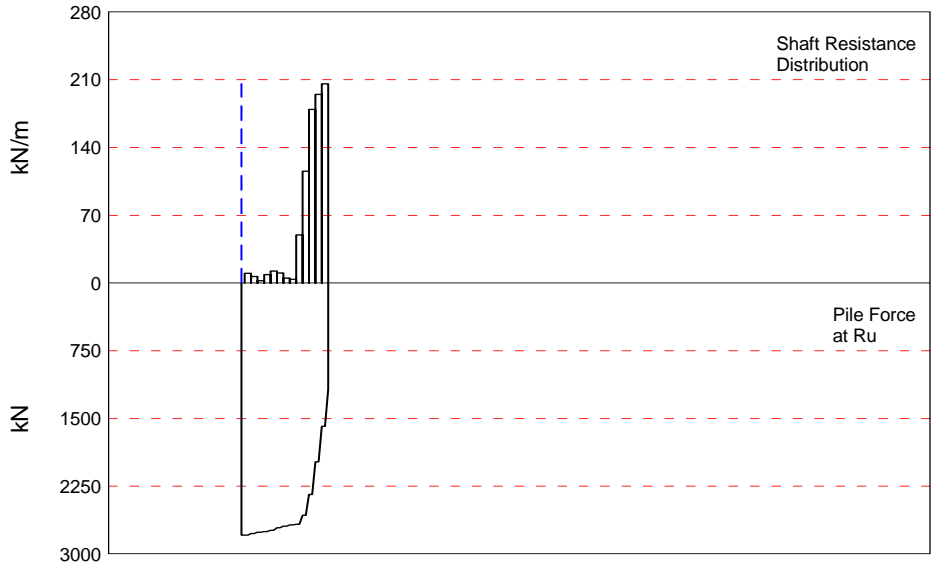
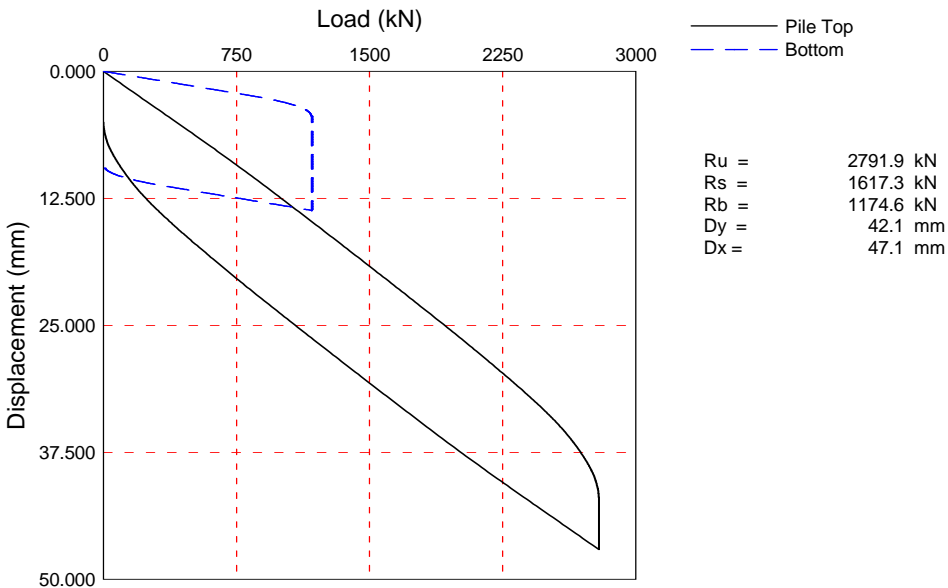
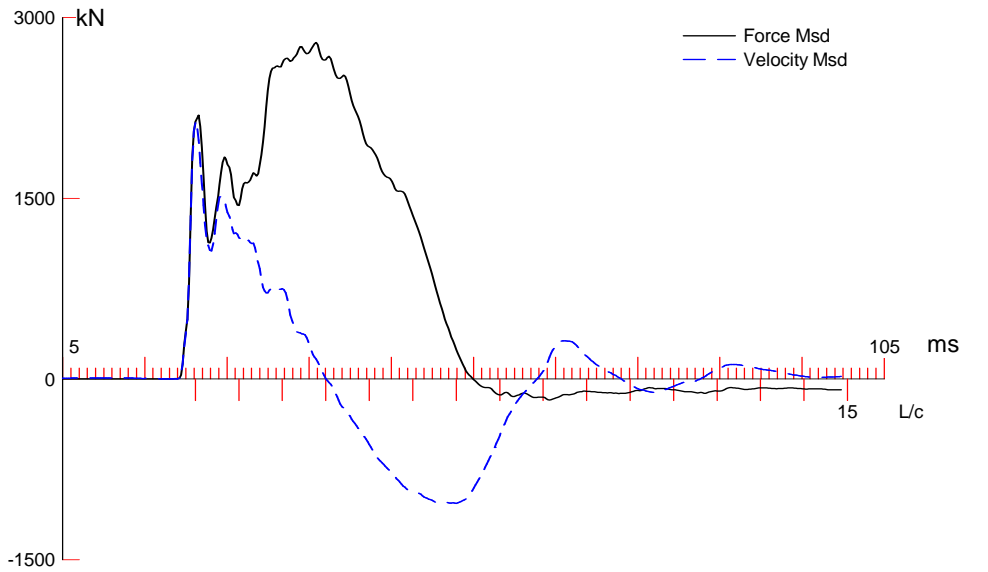
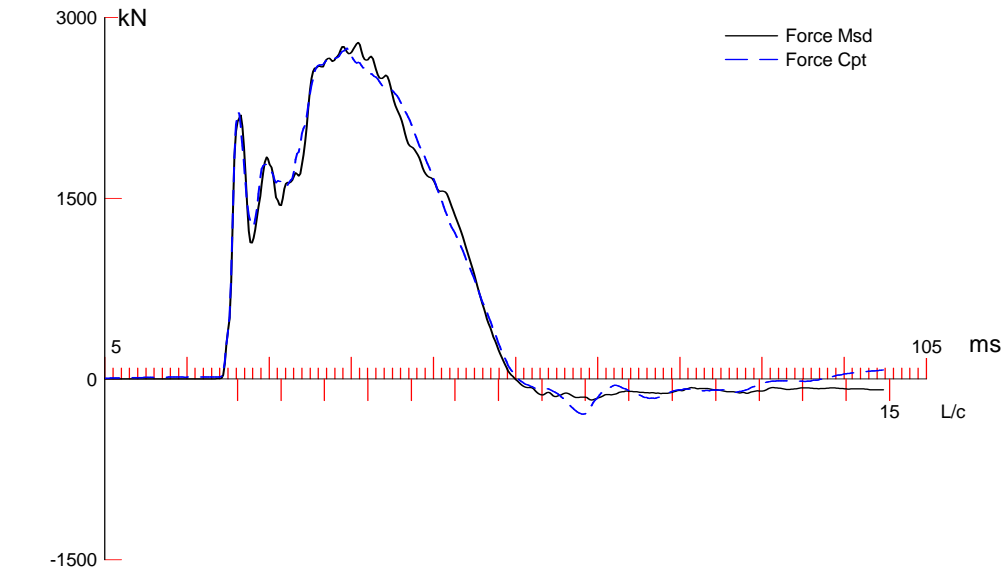
RAU = 2663.6 (kN); RA2 = 2921.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 3053.2 (kN); Corresponding J(RP)= 0.00; J(RX) = 0.60

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.80	22.35	1871.3	1881.7	3265.7	60.099	20.000	20.000	149.9	3742.0

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.60	98.61	210000.0	78.500	1.018

Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T1					Test: 31-Mar-2015 09:01:				
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 24					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
3	3.07	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
27	27.60	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.200 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 10.8 ms		



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 10
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:44:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 2791.9; along Shaft 1617.3; at Toe 1174.6 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2791.9				
1	3.0	3.0	20.2	2771.7	20.2	6.71	6.59	0.797
2	5.0	5.0	13.5	2758.2	33.7	6.73	6.61	0.797
3	7.0	7.0	5.0	2753.2	38.7	2.49	2.45	0.797
4	9.0	9.0	17.8	2735.4	56.5	8.87	8.71	0.797
5	11.0	11.0	25.2	2710.2	81.7	12.55	12.34	0.797
6	13.0	13.0	20.9	2689.3	102.6	10.41	10.23	0.797
7	15.1	15.1	10.3	2679.0	112.9	5.13	5.04	0.797
8	17.1	17.1	8.0	2671.0	120.9	3.99	3.92	0.797
9	19.1	19.1	100.2	2570.8	221.1	49.92	49.05	0.797
10	21.1	21.1	231.8	2339.0	452.9	115.47	113.48	0.797
11	23.1	23.1	360.1	1978.9	813.0	179.39	176.29	0.797
12	25.1	25.1	391.4	1587.5	1204.4	194.98	191.61	0.797
13	27.1	27.1	412.9	1174.6	1617.3	205.69	202.14	0.797
Avg. Shaft			124.4			59.68	58.65	0.797
Toe			1174.6				14255.36	0.080
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			6.678	3.392		
Case Damping Factor					3.189	0.232		
Unloading Quake		(% of loading quake)			86	110		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)						0.242		
Soil Plug Weight		(kN)				0.28		
CAPWAP match quality		=	2.05	(Force Match)		; RSA = 0		
Observed: final set		=	5.000 mm;	blow count		= 200 b/m		
Computed: final set		=	4.155 mm;	blow count		= 241 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	278.3 MPa	(T= 34.7 ms, max= 1.048 x Top)				
max. Comp. Stress		=	291.7 MPa	(Z= 19.1 m, T= 36.1 ms)				
max. Tens. Stress		=	-43.57 MPa	(Z= 19.1 m, T= 60.2 ms)				
max. Energy (EMX)		=	72.18 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=39.27 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 10
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:44:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2744.7	-291.9	278.3	-29.60	72.18	5.2	38.034
2	2.0	2770.5	-321.0	280.9	-32.56	70.79	5.2	36.777
4	4.0	2808.3	-326.9	284.8	-33.15	65.27	5.1	34.249
6	6.0	2816.8	-330.4	285.6	-33.50	60.55	5.0	31.695
8	8.0	2830.1	-332.3	287.0	-33.70	56.64	4.9	29.105
10	10.0	2836.5	-317.7	287.6	-32.21	51.69	4.8	26.483
12	12.0	2825.9	-339.2	286.6	-34.40	46.40	4.7	23.853
13	13.0	2835.5	-366.3	287.5	-37.15	44.63	4.7	22.544
14	14.1	2815.6	-364.1	285.5	-36.93	41.68	4.7	21.248
15	15.1	2830.8	-386.7	287.1	-39.22	39.96	4.6	19.957
16	16.1	2834.1	-392.0	287.4	-39.75	37.76	4.6	18.676
17	17.1	2852.7	-407.7	289.3	-41.35	36.09	4.4	17.404
18	18.1	2858.7	-413.4	289.9	-41.92	34.13	4.1	16.145
19	19.1	2876.9	-429.7	291.7	-43.57	32.52	3.9	14.900
20	20.1	2748.5	-326.6	278.7	-33.12	28.11	3.5	13.717
21	21.1	2764.6	-339.9	280.3	-34.47	26.72	3.1	12.555
22	22.1	2485.4	-181.3	252.0	-18.38	21.04	2.7	11.508
23	23.1	2494.0	-186.7	252.9	-18.93	19.95	2.3	10.479
24	24.1	2108.7	-48.5	213.8	-4.91	14.65	2.0	9.574
25	25.1	2114.6	-51.8	214.4	-5.25	13.81	1.8	8.677
26	26.1	1718.3	-0.1	174.2	-0.01	9.93	1.7	7.900
27	27.1	1722.8	-0.1	174.7	-0.01	6.62	1.5	7.124
Absolute	19.1			291.7			(T =	36.1 ms)
	19.1				-43.57		(T =	60.2 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3115.8	2991.5	2867.3	2743.1	2618.8	2494.6	2370.4	2246.1	2121.9	1997.7
RX	3115.8	2996.5	2885.0	2846.7	2808.3	2771.2	2755.7	2752.9	2750.2	2750.2
RU	3115.8	2991.5	2867.3	2743.1	2618.8	2494.6	2370.4	2246.1	2121.9	1997.7

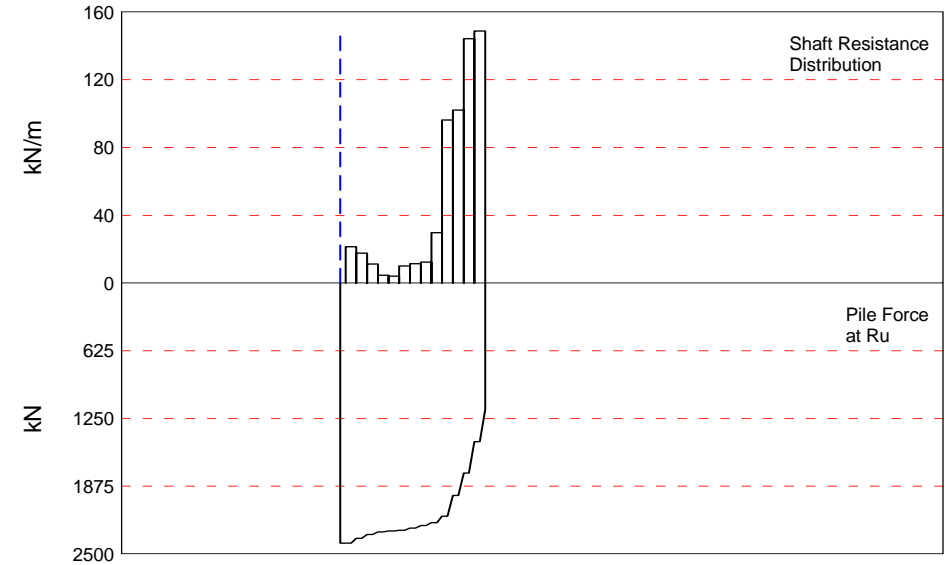
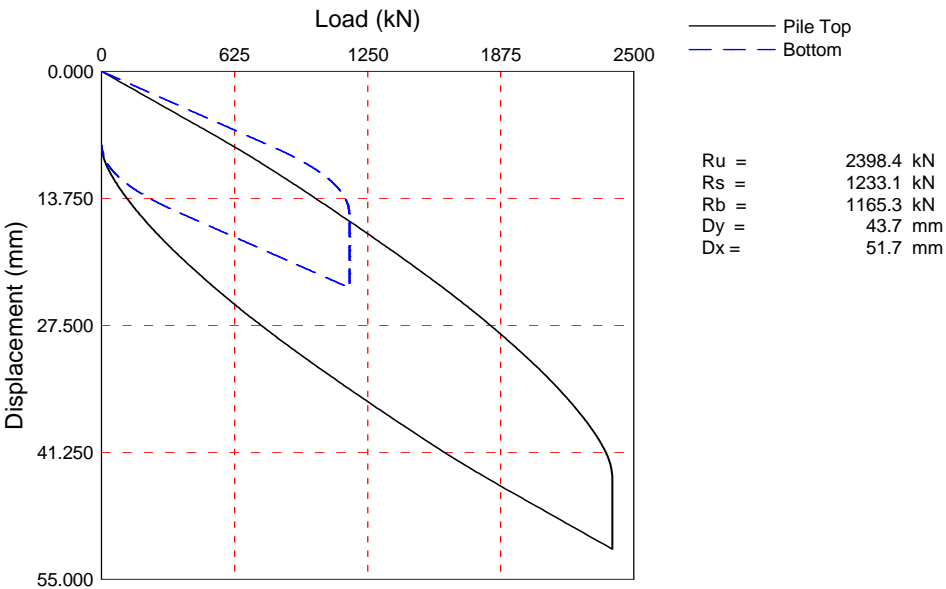
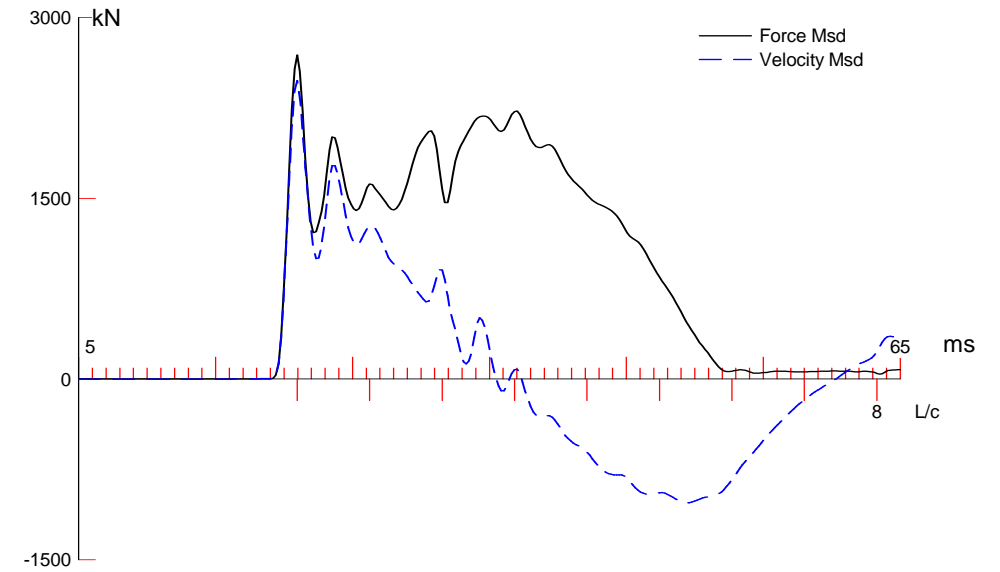
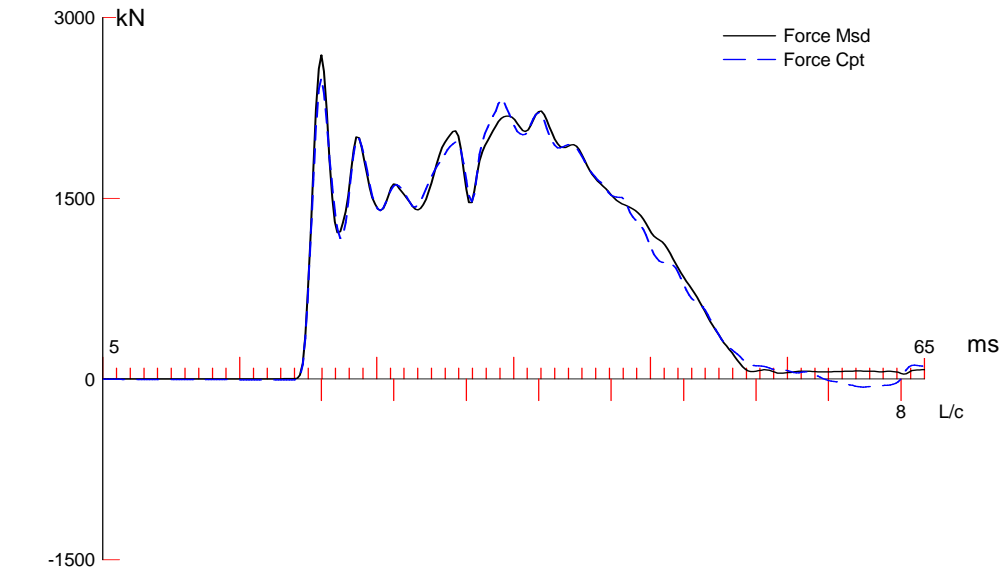
RAU = 2256.2 (kN); RA2 = 2256.2 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2791.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.26; J(RX) = 0.44

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.31	21.36	2148.2	2209.9	2795.7	39.273	5.000	5.000	72.7	3283.3

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.10	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T2 14 vrk						Test: 18-Mar-2015 14:44:			
Junttan HHK 7A; Blow: 10						CAPWAP(R) 2006-2			
Inspecta						OP: TRe			
Toe Area		0.082		m²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Tension Slack mm	Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.01	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.03
27	27.10	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.03
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.196 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		10.6 ms	



Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T2 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 7
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:54:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2398.4; along Shaft 1233.1; at Toe 1165.3 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2398.4				
1	3.0	3.0	43.0	2355.4	43.0	14.28	14.03	0.336
2	5.0	5.0	35.6	2319.8	78.6	17.73	17.43	0.336
3	7.0	7.0	22.8	2297.0	101.4	11.36	11.16	0.336
4	9.0	9.0	9.5	2287.5	110.9	4.73	4.65	0.336
5	11.0	11.0	8.1	2279.4	119.0	4.04	3.97	0.336
6	13.0	13.0	20.2	2259.2	139.2	10.06	9.89	0.336
7	15.1	15.1	23.1	2236.1	162.3	11.51	11.31	0.336
8	17.1	17.1	25.0	2211.1	187.3	12.45	12.24	0.336
9	19.1	19.1	59.7	2151.4	247.0	29.74	29.23	0.336
10	21.1	21.1	193.1	1958.3	440.1	96.19	94.53	0.336
11	23.1	23.1	204.9	1753.4	645.0	102.07	100.31	0.336
12	25.1	25.1	289.4	1464.0	934.4	144.17	141.68	0.336
13	27.1	27.1	298.7	1165.3	1233.1	148.80	146.23	0.336
Avg. Shaft			94.9			45.50	44.72	0.336
Toe			1165.3				14142.49	0.070

Soil Model Parameters/Extensions

		Shaft	Toe
Quake	(mm)	7.501	11.857
Case Damping Factor		1.025	0.200
Unloading Quake	(% of loading quake)	52	122
Reloading Level	(% of Ru)	100	100
Unloading Level	(% of Ru)	64	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)			2.618
Soil Plug Weight	(kN)		0.47

CAPWAP match quality	=	1.91	(Force Match)	; RSA = 0
Observed: final set	=	8.000 mm;	blow count	= 125 b/m
Computed: final set	=	7.000 mm;	blow count	= 143 b/m
max. Top Comp. Stress	=	253.3 MPa	(T= 21.2 ms, max= 1.026 x Top)	
max. Comp. Stress	=	260.0 MPa	(Z= 3.0 m, T= 21.8 ms)	
max. Tens. Stress	=	-23.04 MPa	(Z= 19.1 m, T= 56.4 ms)	
max. Energy (EMX)	=	65.94 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=38.83 mm	

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T2 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 7
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:54:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2497.9	-67.1	253.3	-6.80	65.94	6.1	37.810
2	2.0	2539.8	-94.9	257.6	-9.63	65.16	6.0	36.769
4	4.0	2476.5	-95.0	251.1	-9.64	59.96	5.9	34.675
6	6.0	2418.3	-92.6	245.2	-9.39	55.60	5.8	32.657
8	8.0	2377.0	-96.2	241.0	-9.75	52.10	5.8	30.612
10	10.0	2383.5	-112.1	241.7	-11.37	49.29	5.8	28.504
12	12.0	2411.0	-135.9	244.5	-13.78	46.57	5.7	26.387
13	13.0	2411.0	-157.9	244.5	-16.01	45.44	5.7	25.340
14	14.1	2380.8	-163.5	241.4	-16.58	43.41	5.6	24.303
15	15.1	2377.3	-184.9	241.1	-18.75	42.30	5.6	23.264
16	16.1	2350.5	-183.7	238.4	-18.62	40.28	5.5	22.238
17	17.1	2353.4	-206.0	238.6	-20.89	39.20	5.5	21.219
18	18.1	2323.1	-206.2	235.6	-20.91	37.26	5.4	20.212
19	19.1	2385.0	-227.2	241.9	-23.04	36.17	5.2	19.185
20	20.1	2342.3	-193.1	237.5	-19.58	33.19	5.0	18.153
21	21.1	2436.7	-212.6	247.1	-21.56	32.05	4.8	17.102
22	22.1	2152.5	-71.3	218.3	-7.23	26.10	4.5	16.155
23	23.1	2255.4	-91.0	228.7	-9.23	25.18	4.3	15.211
24	24.1	1986.3	-3.0	201.4	-0.30	20.15	4.1	14.366
25	25.1	1978.3	-3.0	200.6	-0.31	19.50	4.1	13.570
26	26.1	1600.8	-1.6	162.3	-0.16	13.84	4.7	12.914
27	27.1	1563.6	-1.6	158.6	-0.17	8.30	5.1	12.235
Absolute	3.0			260.0			(T =	21.8 ms)
	19.1				-23.04		(T =	56.4 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2948.8	2722.5	2496.3	2270.0	2043.7	1817.4	1591.1	1364.8	1138.6	912.3
RX	2948.8	2722.5	2536.0	2431.1	2369.6	2331.4	2303.4	2290.0	2276.8	2264.6
RU	2948.8	2722.5	2496.3	2270.0	2043.7	1817.4	1591.1	1364.8	1138.6	912.3

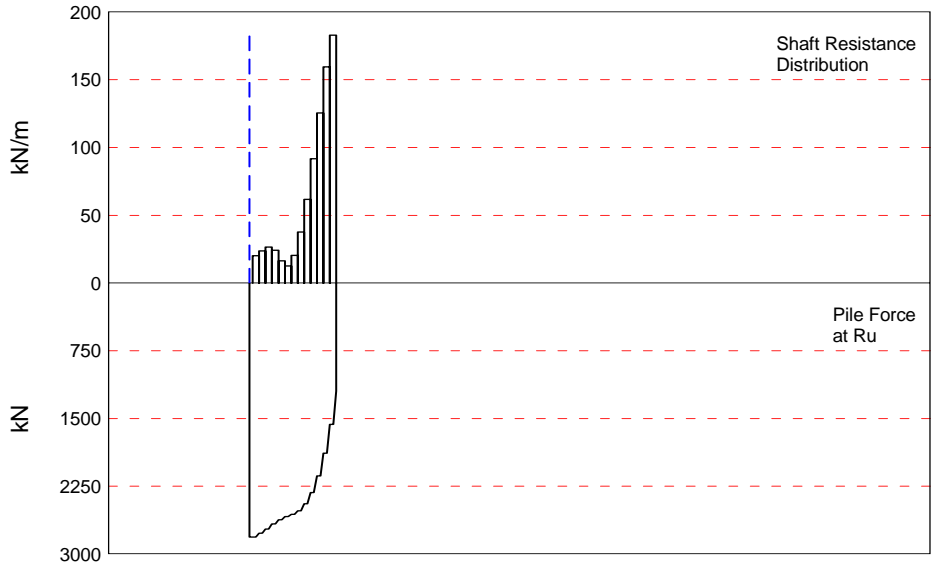
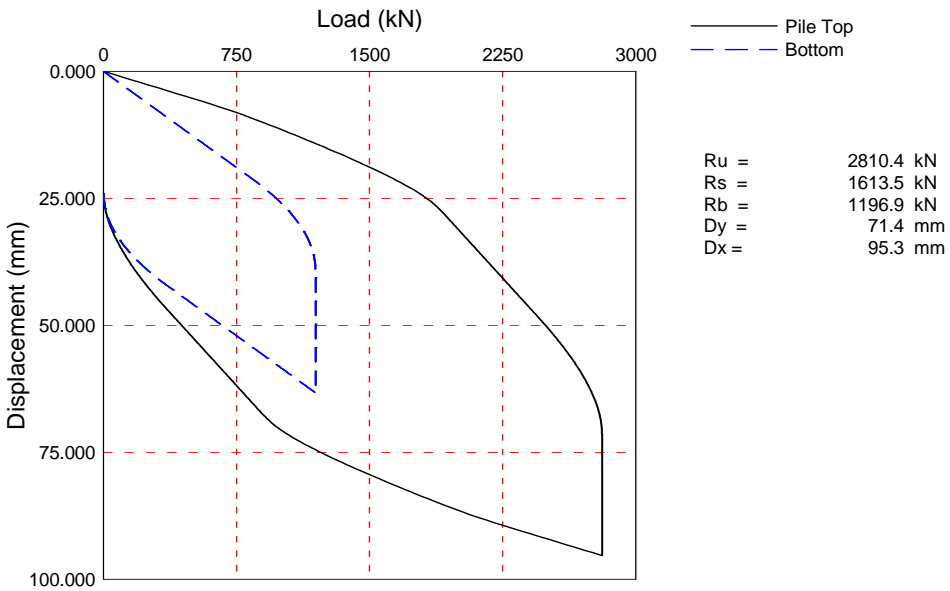
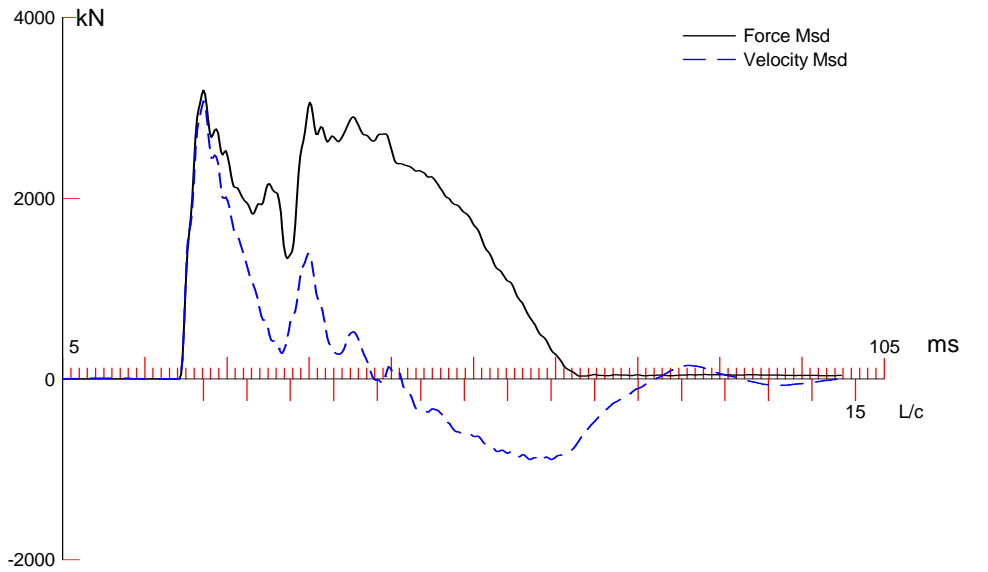
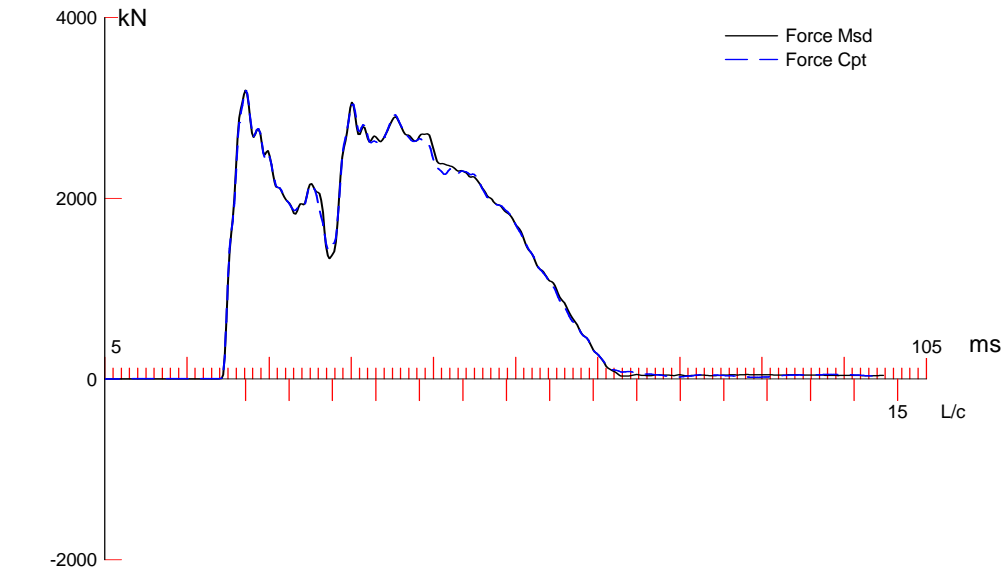
RAU = 2138.1 (kN); RA2 = 1996.1 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2398.4 (kN); Corresponding J(RP)= 0.24; J(RX) = 0.35

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.19	21.16	2504.3	2707.3	2716.1	38.826	7.998	8.000	68.3	2917.4

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.10	98.61	210000.0	78.500	1.018

Koepaalutus Tuuliharju; File: TU-T2 24h					Test: 05-Mar-2015 10:54:				
Junttan HHK 5A; Blow: 7					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.01	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
27	27.10	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.196 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 10.6 ms		



Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T2
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 7
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:43:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 2810.4; along Shaft 1613.5; at Toe 1196.9 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2810.4				
1	3.0	3.0	40.5	2769.9	40.5	13.45	13.22	0.179
2	5.0	5.0	47.9	2722.0	88.4	23.86	23.45	0.179
3	7.0	7.0	53.5	2668.5	141.9	26.65	26.19	0.179
4	9.0	9.0	48.6	2619.9	190.5	24.21	23.79	0.179
5	11.0	11.0	33.2	2586.7	223.7	16.54	16.25	0.179
6	13.0	13.0	25.4	2561.3	249.1	12.65	12.43	0.179
7	15.1	15.1	41.2	2520.1	290.3	20.52	20.17	0.179
8	17.1	17.1	75.6	2444.5	365.9	37.66	37.01	0.179
9	19.1	19.1	123.9	2320.6	489.8	61.72	60.66	0.179
10	21.1	21.1	184.4	2136.2	674.2	91.86	90.27	0.179
11	23.1	23.1	252.0	1884.2	926.2	125.54	123.37	0.179
12	25.1	25.1	320.2	1564.0	1246.4	159.51	156.76	0.179
13	27.1	27.1	367.1	1196.9	1613.5	182.87	179.72	0.179
Avg. Shaft			124.1			59.54	58.51	0.179
Toe			1196.9			14526.00		0.075
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			5.714	30.215		
Case Damping Factor					0.714	0.222		
Unloading Quake		(% of loading quake)			140	77		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			14			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)						9.764		
Soil Plug Weight		(kN)				0.67		
Soil Support Dashpot					4.338	10.000		
Soil Support Weight		(kN)			10.21	10.21		
CAPWAP match quality = 1.70 (Wave Up Match) ; RSA = 0								
Observed: final set		= 24.000 mm;	blow count		=	42 b/m		
Computed: final set		= 19.468 mm;	blow count		=	51 b/m		
max. Top Comp. Stress		= 326.0 MPa	(T= 22.5 ms, max= 1.017 x Top)					
max. Comp. Stress		= 331.6 MPa	(Z= 3.0 m, T= 22.9 ms)					
max. Tens. Stress		= -17.80 MPa	(Z= 19.1 m, T= 71.3 ms)					
max. Energy (EMX)		= 158.14 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=64.13 mm					

Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T2
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 7
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:43:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3215.3	-0.9	326.0	-0.09	158.14	7.6	63.794
2	2.0	3239.9	-7.3	328.5	-0.74	156.74	7.5	62.628
4	4.0	3200.8	-15.2	324.6	-1.54	149.77	7.4	60.261
6	6.0	3188.6	-41.1	323.3	-4.16	142.31	7.2	57.897
8	8.0	3167.5	-63.6	321.2	-6.45	134.50	7.1	55.505
10	10.0	3150.5	-84.4	319.5	-8.56	127.26	7.0	53.073
12	12.0	3114.5	-107.5	315.8	-10.90	121.51	6.9	50.652
13	13.0	3135.4	-122.2	317.9	-12.39	120.03	6.8	49.451
14	14.1	3085.1	-136.2	312.8	-13.81	116.67	6.7	48.293
15	15.1	3076.4	-154.4	312.0	-15.66	115.39	6.6	47.174
16	16.1	3038.9	-150.9	308.2	-15.31	111.16	6.4	46.085
17	17.1	3118.4	-168.6	316.2	-17.10	109.92	6.2	44.989
18	18.1	3051.8	-163.4	309.5	-16.57	103.58	6.0	43.911
19	19.1	3159.3	-175.6	320.4	-17.80	102.35	5.7	42.821
20	20.1	3033.2	-144.2	307.6	-14.62	93.38	5.5	41.773
21	21.1	3087.3	-147.8	313.1	-14.99	92.23	5.2	40.713
22	22.1	2668.8	-107.2	270.6	-10.87	80.38	5.6	39.725
23	23.1	2626.4	-116.2	266.3	-11.78	79.36	5.8	38.728
24	24.1	2232.2	-52.5	226.4	-5.33	64.67	5.7	37.856
25	25.1	2142.1	-63.8	217.2	-6.47	63.92	5.8	36.999
26	26.1	1723.3	-20.7	174.8	-2.09	46.71	5.9	36.300
27	27.1	1716.9	-30.4	174.1	-3.09	27.76	6.0	35.617
Absolute	3.0			331.6			(T =	22.9 ms)
	19.1				-17.80		(T =	71.3 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3512.1	3233.7	2955.2	2676.7	2398.2	2119.7	1841.2	1562.7	1284.2	1005.8
RX	3512.1	3273.4	3166.0	3059.6	2955.2	2851.0	2804.4	2772.8	2755.6	2751.3
RU	3512.1	3233.7	2955.2	2676.7	2398.2	2119.7	1841.2	1562.7	1284.2	1005.8

RAU = 2441.9 (kN); RA2 = 2849.8 (kN)

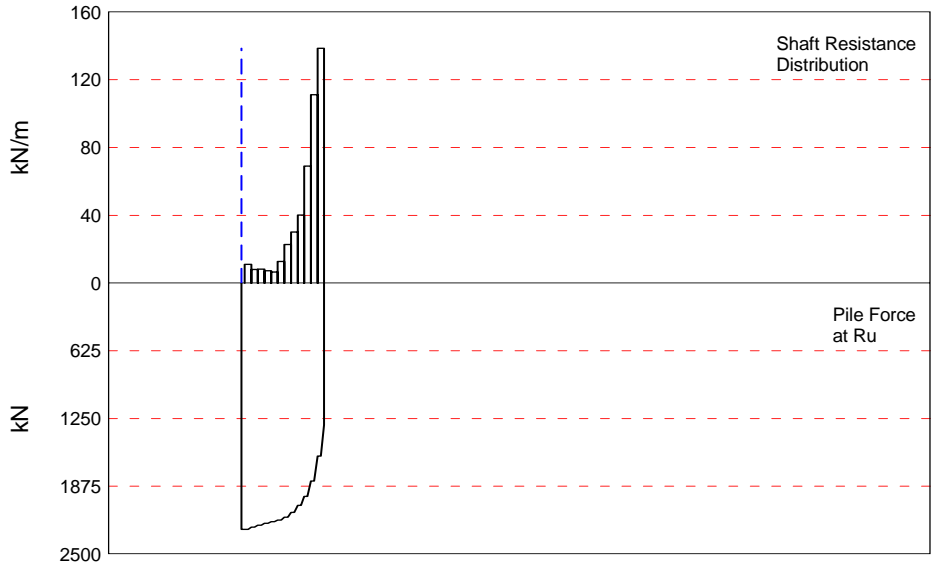
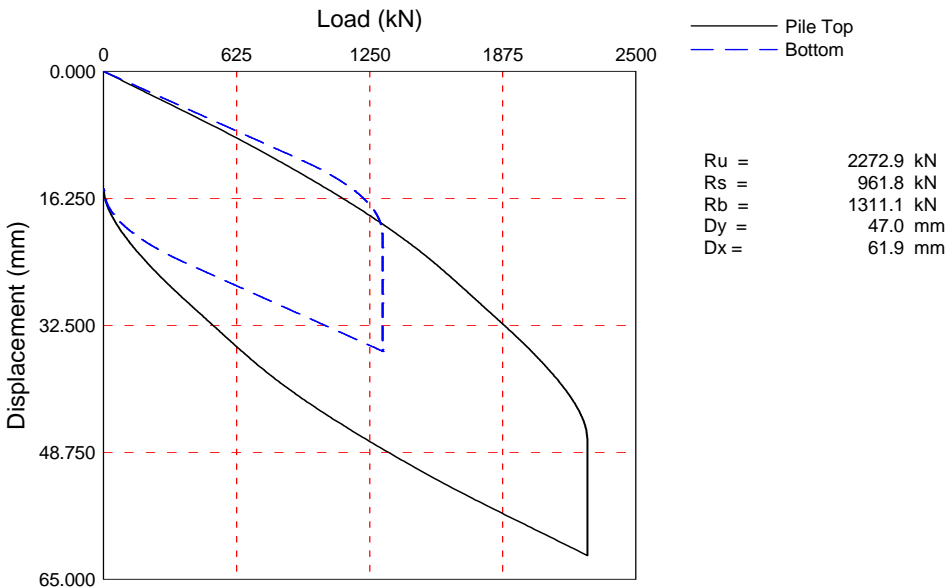
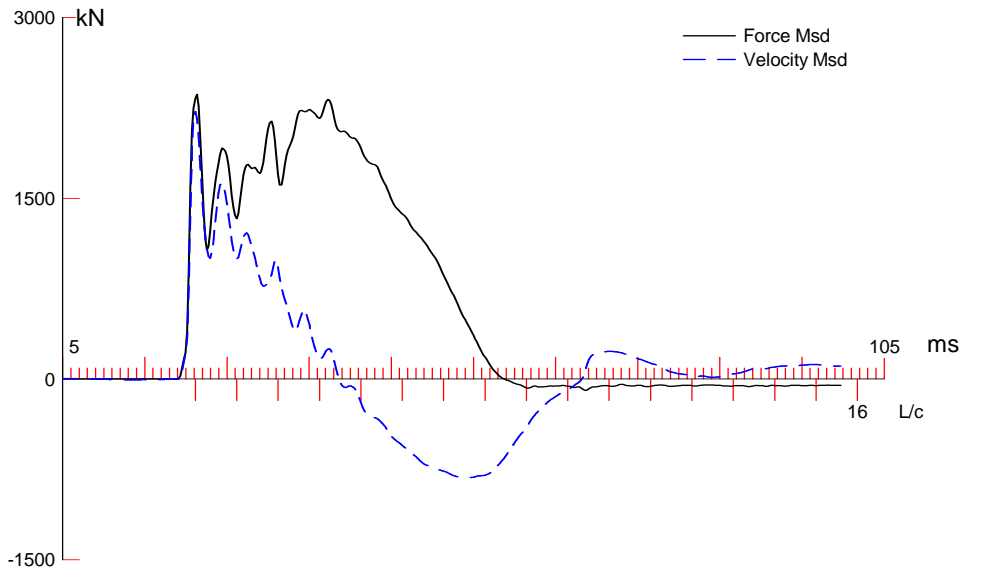
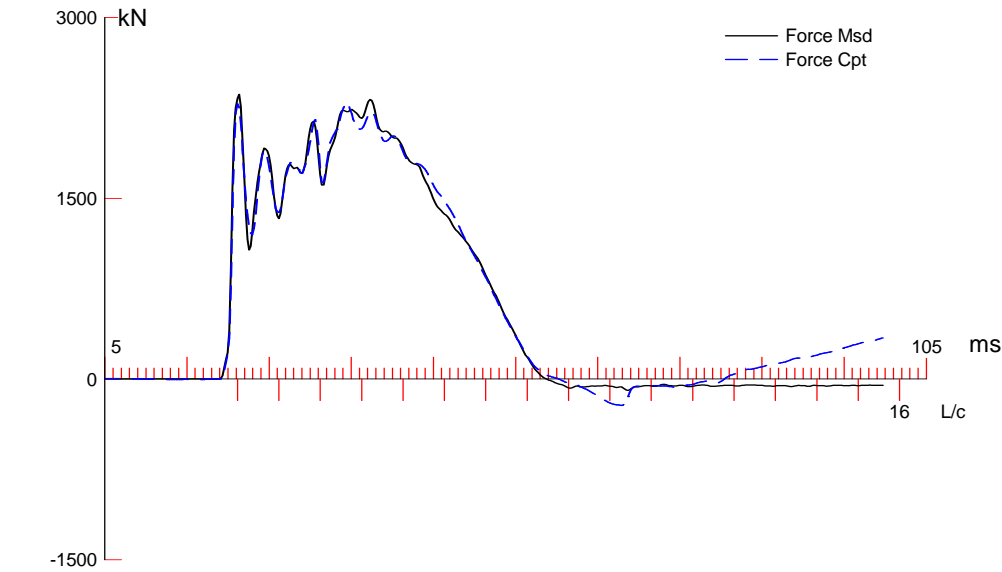
Current CAPWAP Ru = 2810.4 (kN); Corresponding J(RP)= 0.25; J(RX) = 0.59

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.65	22.34	3092.2	3204.8	3204.8	64.130	24.232	24.000	157.6	3576.9

Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T2
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 7
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:43:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL					
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.	
m	cm²	MPa	kN/m³	m	
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018	
27.10	98.61	210000.0	78.500	1.018	
Toe Area		0.082	m²		
Top Segment Length		1.00 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s		
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.196 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	10.6 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:56:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRé

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 2272.9; along Shaft 961.8; at Toe 1311.1 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2272.9				
1	3.1	3.1	22.9	2250.0	22.9	7.40	7.27	0.618
2	5.2	5.2	16.6	2233.4	39.5	8.04	7.90	0.618
3	7.2	7.2	17.0	2216.4	56.5	8.24	8.09	0.618
4	9.3	9.3	15.1	2201.3	71.6	7.32	7.19	0.618
5	11.4	11.4	13.5	2187.8	85.1	6.54	6.43	0.618
6	13.4	13.4	26.5	2161.3	111.6	12.84	12.62	0.618
7	15.5	15.5	47.1	2114.2	158.7	22.82	22.43	0.618
8	17.5	17.5	62.1	2052.1	220.8	30.09	29.57	0.618
9	19.6	19.6	83.0	1969.1	303.8	40.21	39.52	0.618
10	21.7	21.7	142.5	1826.6	446.3	69.04	67.85	0.618
11	23.7	23.7	229.4	1597.2	675.7	111.14	109.23	0.618
12	25.8	25.8	286.1	1311.1	961.8	138.61	136.22	0.618
Avg. Shaft			80.1		37.28		36.64	0.618
Toe			1311.1				15911.97	0.277
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			6.559	16.011		
Case Damping Factor					1.470	0.898		
Damping Type						Smith		
Unloading Quake		(% of loading quake)			108	55		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			87			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)						1.199		
Soil Support Dashpot					2.994	0.000		
Soil Support Weight		(kN)			10.50	0.00		
CAPWAP match quality		=	1.92	(Force Match)	; RSA = 0			
Observed: final set		=	15.000 mm;	blow count	=	67 b/m		
Computed: final set		=	4.022 mm;	blow count	=	249 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	232.5 MPa	(T= 34.7 ms, max= 1.033 x Top)				
max. Comp. Stress		=	240.1 MPa	(Z= 5.2 m, T= 35.7 ms)				
max. Tens. Stress		=	-25.19 MPa	(Z= 7.2 m, T= 68.7 ms)				
max. Energy (EMX)		=	71.29 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=40.74 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:56:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2292.5	-218.4	232.5	-22.15	71.29	5.4	39.722
2	2.1	2332.9	-238.6	236.6	-24.20	70.57	5.4	38.695
4	4.1	2341.9	-237.8	237.5	-24.11	66.16	5.3	36.627
6	6.2	2356.2	-240.7	238.9	-24.41	62.47	5.2	34.556
8	8.3	2341.0	-240.2	237.4	-24.36	58.89	5.1	32.492
9	9.3	2350.0	-244.5	238.3	-24.79	57.80	5.1	31.456
10	10.3	2336.4	-235.0	236.9	-23.83	55.55	5.0	30.421
11	11.4	2350.2	-236.8	238.3	-24.01	54.45	5.0	29.380
12	12.4	2343.9	-226.9	237.7	-23.01	52.41	4.9	28.339
13	13.4	2356.6	-228.4	239.0	-23.16	51.30	4.9	27.293
14	14.4	2325.5	-208.7	235.8	-21.16	48.58	4.8	26.258
15	15.5	2342.8	-209.0	237.6	-21.19	47.49	4.7	25.223
16	16.5	2270.2	-172.6	230.2	-17.50	43.91	4.6	24.212
17	17.5	2280.7	-175.9	231.3	-17.84	42.88	4.4	23.204
18	18.6	2202.2	-130.2	223.3	-13.20	38.94	4.3	22.226
19	19.6	2214.6	-141.5	224.6	-14.35	37.97	4.1	21.248
20	20.6	2115.7	-86.0	214.5	-8.73	33.73	3.9	20.307
21	21.7	2130.2	-96.1	216.0	-9.75	32.83	3.7	19.366
22	22.7	1968.8	-30.5	199.7	-3.09	27.43	3.5	18.485
23	23.7	1982.6	-37.9	201.0	-3.85	26.65	3.8	17.608
24	24.8	1742.8	-2.5	176.7	-0.25	19.72	4.3	16.818
25	25.8	1755.3	-2.3	178.0	-0.24	12.15	4.2	16.033
Absolute	5.2			240.1			(T =	35.7 ms)
	7.2				-25.19		(T =	68.7 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2675.9	2483.5	2291.1	2098.6	1906.2	1713.8	1521.4	1328.9	1136.5	944.1
RX	2675.9	2513.3	2464.3	2417.3	2370.2	2323.2	2276.2	2229.7	2185.9	2150.0
RU	2675.9	2483.5	2291.1	2098.6	1906.2	1713.8	1521.4	1328.9	1136.5	944.1

RAU = 1560.7 (kN); RA2 = 2262.3 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2272.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.21; J(RX) = 0.61

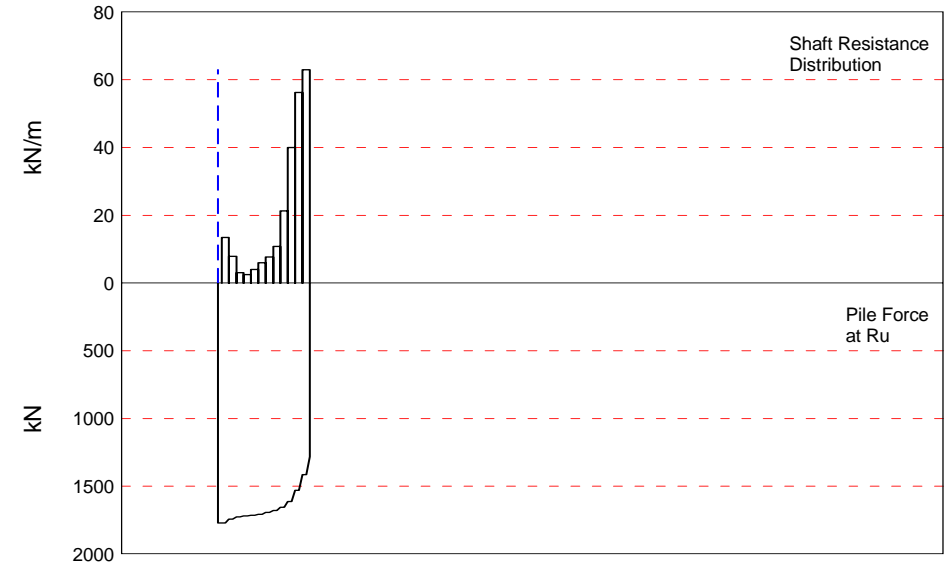
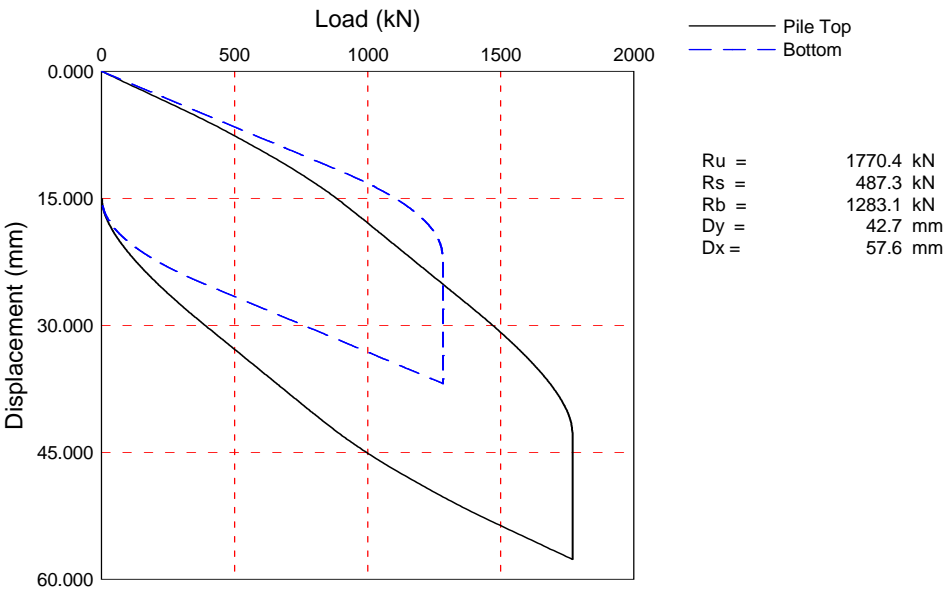
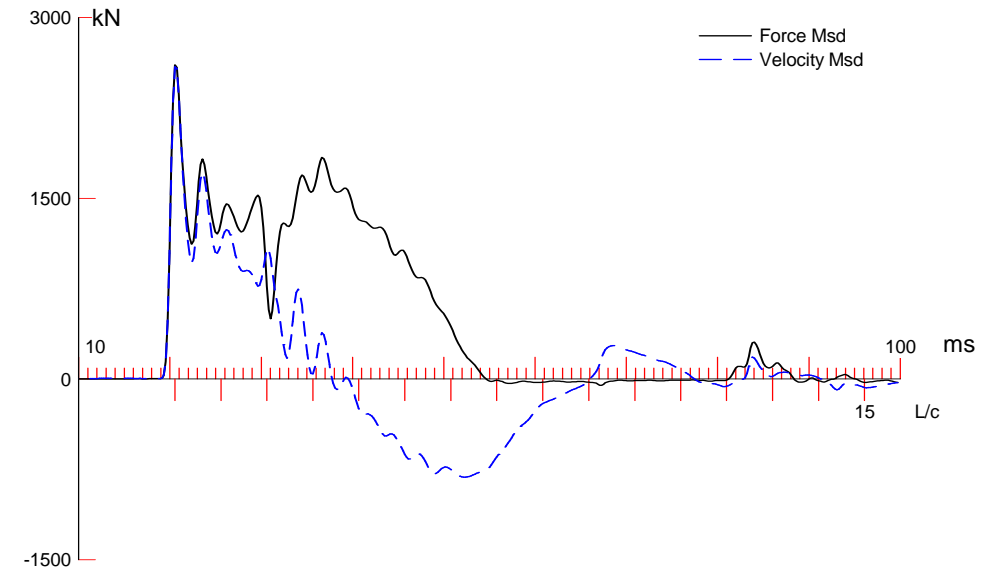
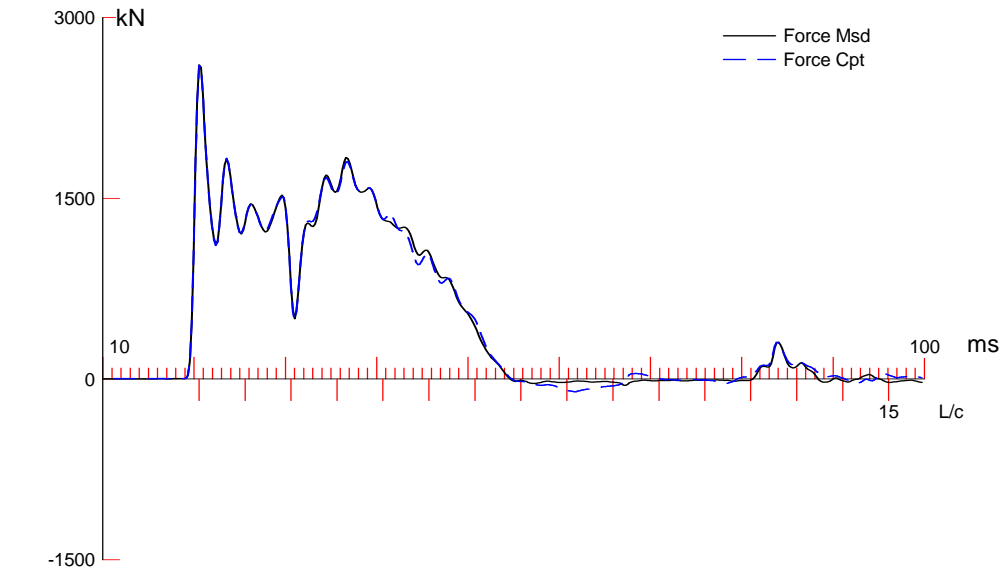
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.58	21.36	2254.7	2345.5	2407.4	40.736	15.008	15.000	73.9	2650.8

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
25.80	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: TU-T3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 14:56:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.03	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.06	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.04
3	3.10	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.04
25	25.80	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.04
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.201 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		10.1 ms	



Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T3 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 9
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:44:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1770.4; along Shaft 487.3; at Toe 1283.1 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1770.4				
1	3.1	3.1	27.9	1742.5	27.9	9.01	8.86	0.410
2	5.2	5.2	16.3	1726.2	44.2	7.90	7.76	0.410
3	7.2	7.2	6.4	1719.8	50.6	3.10	3.05	0.410
4	9.3	9.3	5.1	1714.7	55.7	2.47	2.43	0.410
5	11.4	11.4	8.3	1706.4	64.0	4.02	3.95	0.410
6	13.4	13.4	12.4	1694.0	76.4	6.01	5.90	0.410
7	15.5	15.5	15.9	1678.1	92.3	7.70	7.57	0.410
8	17.5	17.5	22.4	1655.7	114.7	10.85	10.67	0.410
9	19.6	19.6	44.0	1611.7	158.7	21.32	20.95	0.410
10	21.7	21.7	82.5	1529.2	241.2	39.97	39.28	0.410
11	23.7	23.7	116.2	1413.0	357.4	56.30	55.33	0.410
12	25.8	25.8	129.9	1283.1	487.3	62.94	61.85	0.410
Avg. Shaft			40.6			18.89	18.56	0.410
Toe			1283.1				15572.15	0.082

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		4.947	16.839
Case Damping Factor			0.494	0.262
Unloading Quake	(% of loading quake)		151	48
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		60	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			1.329
Soil Plug Weight	(kN)			0.43
Soil Support Dashpot			2.400	8.952
Soil Support Weight	(kN)		10.50	10.50

CAPWAP match quality	=	1.79	(Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set	=	15.000 mm;	blow count = 67 b/m
Computed: final set	=	14.846 mm;	blow count = 67 b/m
max. Top Comp. Stress	=	264.3 MPa	(T= 21.0 ms, max= 1.013 x Top)
max. Comp. Stress	=	267.7 MPa	(Z= 3.1 m, T= 21.4 ms)
max. Tens. Stress	=	-30.18 MPa	(Z= 17.5 m, T= 58.6 ms)
max. Energy (EMX)	=	62.37 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=41.54 mm

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T3 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 9
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:44:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2606.7	-112.8	264.3	-11.44	62.37	6.4	40.659
2	2.1	2622.9	-124.9	266.0	-12.67	61.68	6.4	39.832
4	4.1	2563.9	-140.0	260.0	-14.20	58.04	6.3	38.235
6	6.2	2524.5	-156.0	256.0	-15.82	55.55	6.2	36.719
8	8.3	2508.3	-188.8	254.4	-19.14	53.85	6.2	35.178
9	9.3	2513.8	-211.1	254.9	-21.40	53.18	6.2	34.357
10	10.3	2504.4	-224.4	254.0	-22.76	52.07	6.1	33.512
11	11.4	2512.7	-239.9	254.8	-24.32	51.40	6.1	32.696
12	12.4	2495.9	-246.7	253.1	-25.02	50.27	6.1	31.978
13	13.4	2506.9	-263.3	254.2	-26.70	49.78	6.1	31.278
14	14.4	2480.4	-272.0	251.5	-27.58	48.41	6.0	30.549
15	15.5	2495.1	-287.7	253.0	-29.18	47.82	6.0	29.791
16	16.5	2463.8	-287.3	249.8	-29.13	46.29	5.9	29.062
17	17.5	2488.9	-297.6	252.4	-30.18	45.80	5.9	28.364
18	18.6	2454.7	-278.5	248.9	-28.24	43.95	5.8	27.658
19	19.6	2499.6	-277.0	253.5	-28.09	43.39	5.7	26.912
20	20.6	2429.2	-242.3	246.3	-24.57	40.38	5.6	26.149
21	21.7	2493.9	-247.3	252.9	-25.07	39.82	5.4	25.418
22	22.7	2336.0	-198.5	236.9	-20.13	35.38	5.2	24.760
23	23.7	2319.1	-201.6	235.2	-20.44	34.98	5.3	24.128
24	24.8	1804.4	-141.5	183.0	-14.35	29.33	6.3	23.531
25	25.8	1494.1	-141.1	151.5	-14.31	23.61	7.0	22.897
Absolute	3.1			267.7			(T =	21.4 ms)
	17.5				-30.18		(T =	58.6 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2426.0	2134.2	1842.3	1550.4	1258.6	966.7	674.9	383.0	91.1	0.0
RX	2426.0	2134.2	1960.6	1898.4	1837.4	1779.8	1744.1	1724.0	1712.5	1707.3
RU	2426.0	2134.2	1842.3	1550.4	1258.6	966.7	674.9	383.0	91.1	0.0

RAU = 1572.1 (kN); RA2 = 1872.9 (kN)

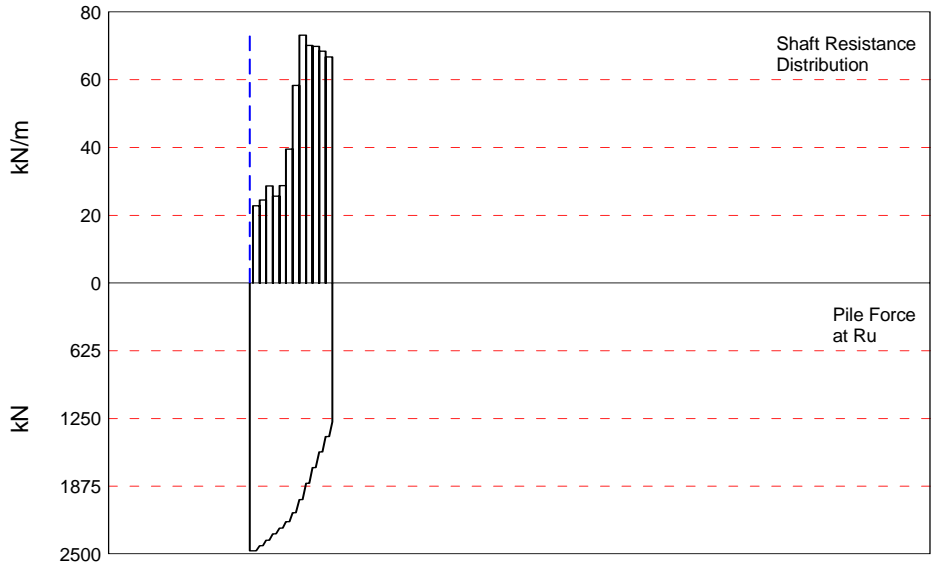
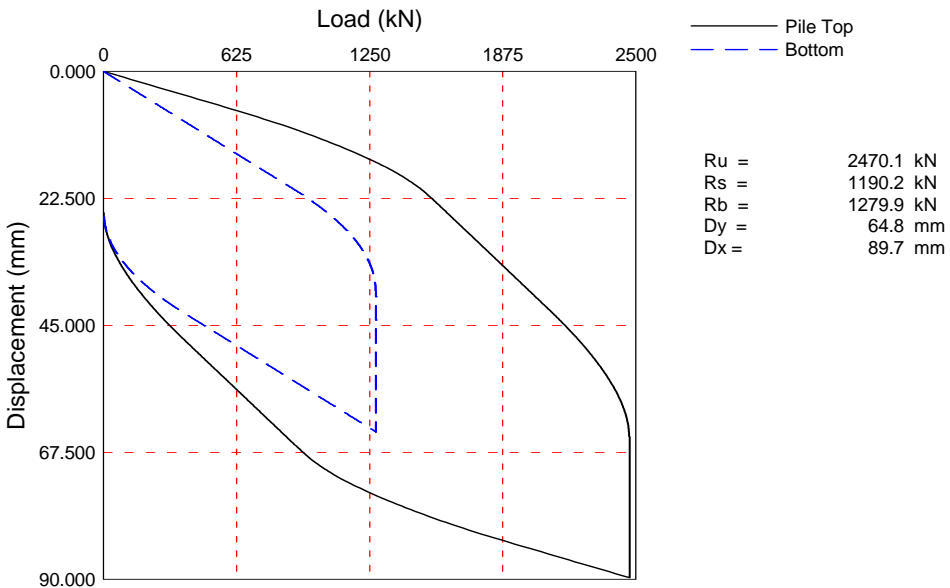
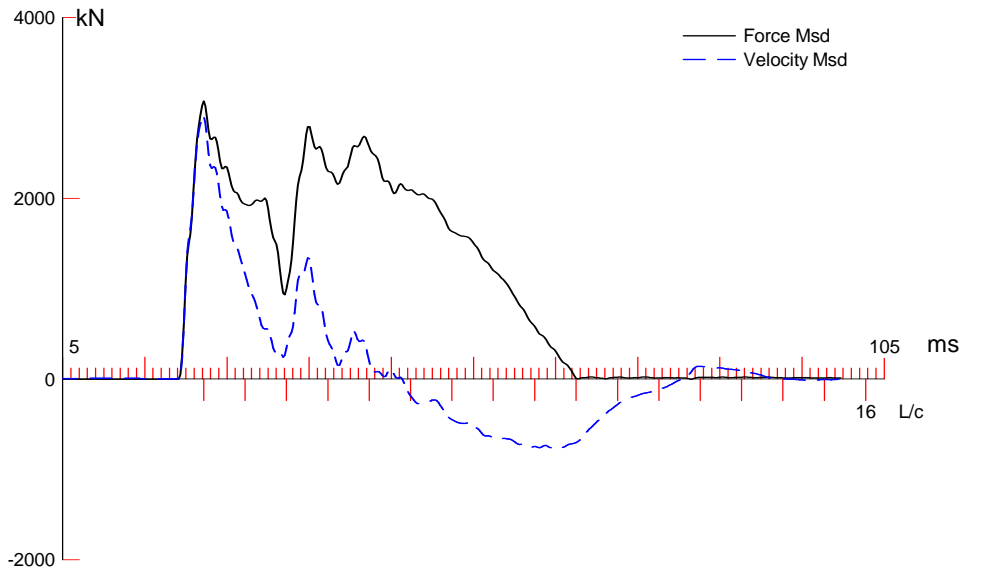
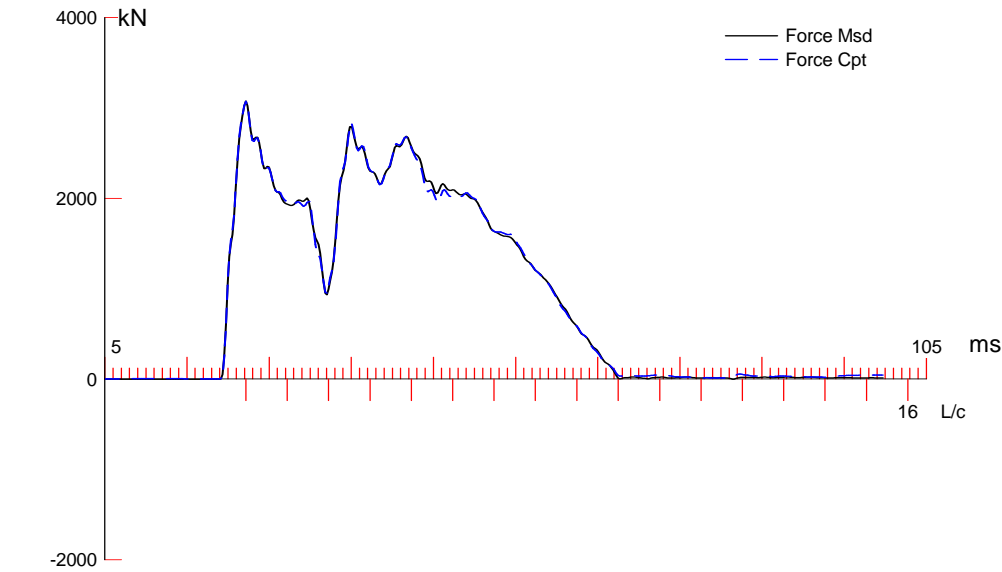
Current CAPWAP Ru = 1770.4 (kN); Corresponding J(RP)= 0.22; J(RX) = 0.53

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.59	20.75	2664.7	2680.0	2680.0	41.541	15.019	15.000	63.3	2239.2

Koepaalutus Tuuliharju; Pile: TU-T3 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 9
Inspecta

Test: 05-Mar-2015 10:44:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL					
	Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
	m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
	0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
	25.80	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²		
Top Segment Length		1.03 m, Top Impedance		404.32 kN/m/s	
Pile Damping	1.0 %, Time Incr		0.201 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 10.1 ms



Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T3
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 18
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:19:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2470.1; along Shaft 1190.2; at Toe 1279.9 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2470.1				
1	3.1	3.1	47.1	2423.0	47.1	15.21	14.95	0.138
2	5.2	5.2	50.6	2372.4	97.7	24.52	24.09	0.138
3	7.2	7.2	59.2	2313.2	156.9	28.68	28.19	0.138
4	9.3	9.3	52.9	2260.3	209.8	25.63	25.19	0.138
5	11.4	11.4	59.3	2201.0	269.1	28.73	28.23	0.138
6	13.4	13.4	81.6	2119.4	350.7	39.53	38.85	0.138
7	15.5	15.5	120.5	1998.9	471.2	58.38	57.37	0.138
8	17.5	17.5	151.0	1847.9	622.2	73.16	71.90	0.138
9	19.6	19.6	144.8	1703.1	767.0	70.16	68.94	0.138
10	21.7	21.7	144.2	1558.9	911.2	69.86	68.66	0.138
11	23.7	23.7	141.3	1417.6	1052.5	68.46	67.28	0.138
12	25.8	25.8	137.7	1279.9	1190.2	66.72	65.56	0.138
Avg. Shaft			99.2			46.13	45.34	0.138
Toe			1279.9				15533.31	0.175

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		6.738	29.904
Case Damping Factor			0.406	0.554
Unloading Quake	(% of loading quake)		164	110
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		34	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				5.739
Soil Plug Weight	(kN)			0.44
Soil Support Dashpot			1.400	9.404
Soil Support Weight	(kN)		10.50	10.50

CAPWAP match quality	=	1.42	(Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set	=	25.000 mm;	blow count = 40 b/m
Computed: final set	=	18.810 mm;	blow count = 53 b/m
max. Top Comp. Stress	=	314.1 MPa	(T= 22.6 ms, max= 1.016 x Top)
max. Comp. Stress	=	319.0 MPa	(Z= 3.1 m, T= 23.0 ms)
max. Tens. Stress	=	-5.42 MPa	(Z= 13.4 m, T= 70.7 ms)
max. Energy (EMX)	=	139.82 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=60.16 mm

Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T3
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 18
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:19:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3097.4	-0.4	314.1	-0.05	139.82	7.1	59.659
2	2.1	3121.9	-12.4	316.6	-1.26	138.70	7.1	58.598
4	4.1	3080.0	-28.0	312.3	-2.84	132.54	7.0	56.466
6	6.2	3034.3	-37.6	307.7	-3.81	126.40	6.8	54.384
8	8.3	2976.7	-32.9	301.9	-3.34	119.69	6.7	52.252
9	9.3	3007.1	-51.5	304.9	-5.22	118.60	6.6	51.210
10	10.3	2946.7	-39.5	298.8	-4.01	113.76	6.5	50.178
11	11.4	2986.5	-50.7	302.8	-5.14	112.65	6.4	49.133
12	12.4	2928.4	-36.0	297.0	-3.65	107.59	6.3	48.105
13	13.4	2980.4	-53.4	302.2	-5.42	106.48	6.2	47.058
14	14.4	2895.6	-24.3	293.6	-2.46	100.26	6.0	46.049
15	15.5	2952.5	-41.2	299.4	-4.18	99.38	5.9	45.119
16	16.5	2806.6	-2.0	284.6	-0.20	91.44	5.7	44.248
17	17.5	2859.2	-10.5	289.9	-1.07	90.68	5.6	43.383
18	18.6	2672.3	-2.3	271.0	-0.23	81.55	5.4	42.589
19	19.6	2709.4	-2.5	274.7	-0.25	80.88	5.3	41.780
20	20.6	2418.0	-2.6	245.2	-0.26	72.46	5.6	41.017
21	21.7	2267.9	-2.7	230.0	-0.27	71.87	5.8	40.254
22	22.7	2006.6	-2.8	203.5	-0.28	63.83	5.8	39.563
23	23.7	1956.9	-2.8	198.4	-0.28	63.33	6.0	38.853
24	24.8	1779.0	-2.8	180.4	-0.28	55.71	6.1	38.203
25	25.8	1756.7	-3.4	178.1	-0.34	49.26	5.9	37.552
Absolute	3.1			319.0			(T =	23.0 ms)
	13.4				-5.42		(T =	70.7 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3339.6	3071.1	2802.6	2534.1	2265.7	1997.2	1728.7	1460.2	1191.7	923.2
RX	3339.6	3071.1	2876.9	2769.6	2663.3	2560.7	2461.1	2390.3	2368.5	2361.4
RU	3339.6	3071.1	2802.6	2534.1	2265.7	1997.2	1728.7	1460.2	1191.7	923.2

RAU = 2040.6 (kN); RA2 = 2506.7 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2470.1 (kN); Corresponding J(RP)= 0.32; J(RX) = 0.59

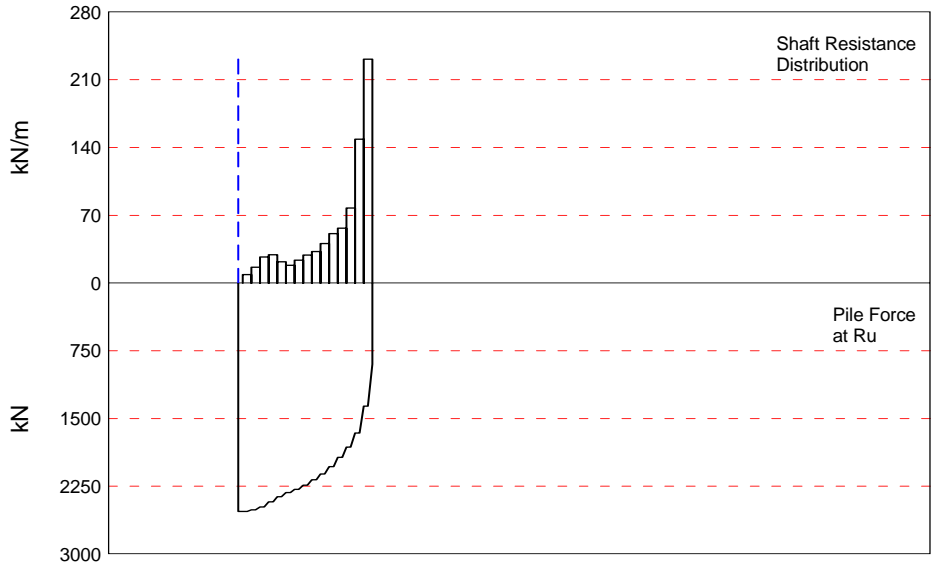
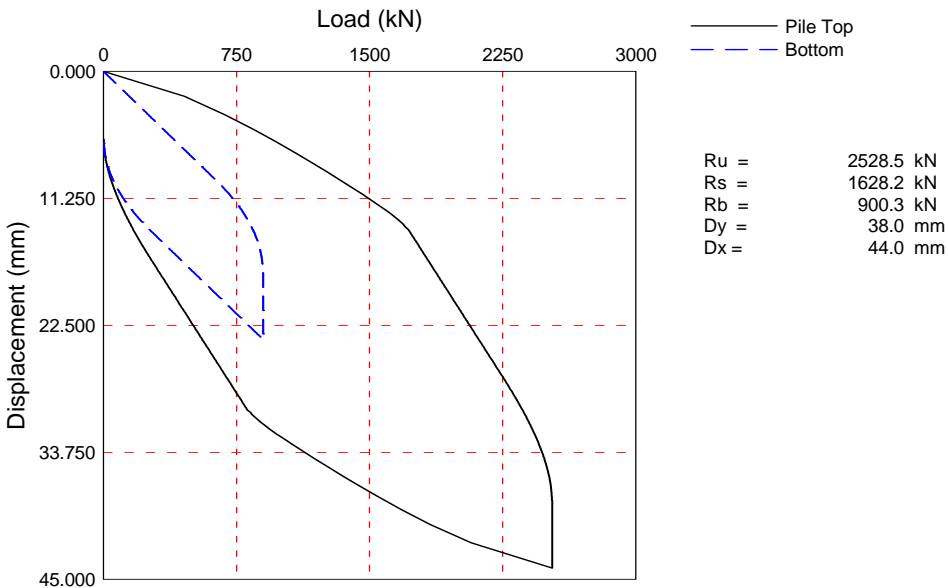
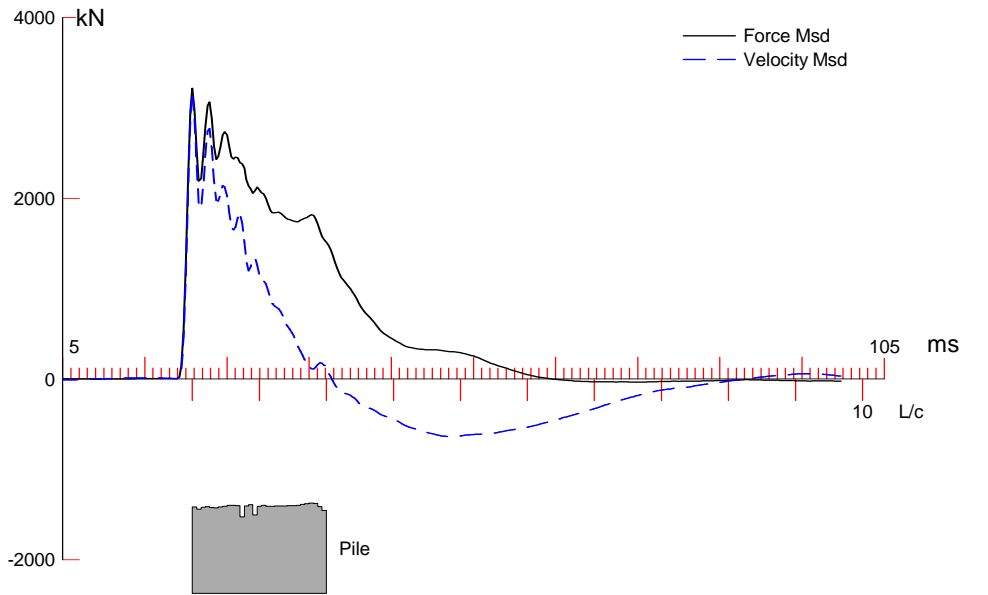
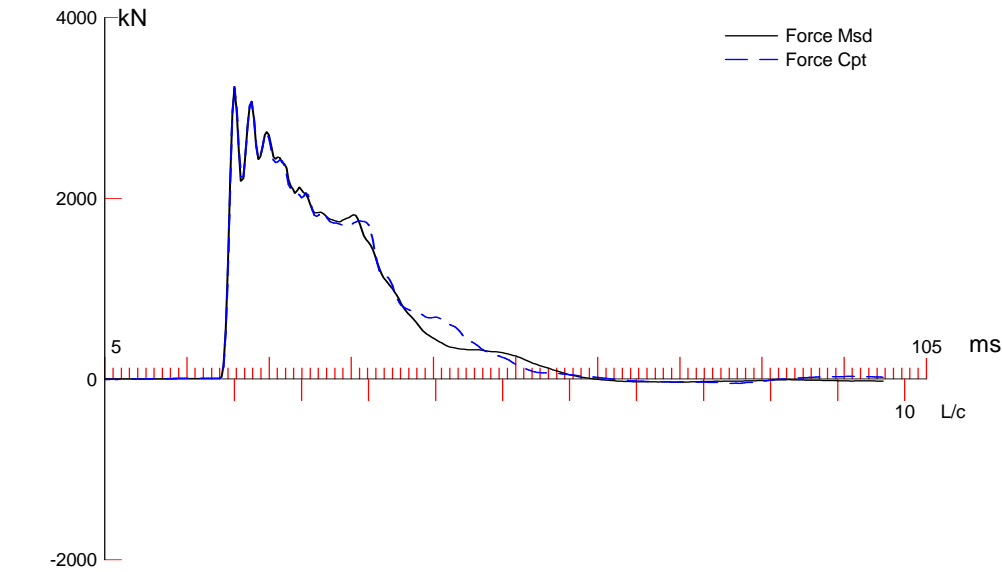
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.25	22.36	2931.0	3093.5	3093.5	60.155	25.159	25.000	139.7	3279.9

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
25.80	98.61	210000.0	78.500	1.018

Tuuliharjun koepaalutus; Pile: TU-T3
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 18
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 09:19:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.03	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.06	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
3	3.10	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
25	25.80	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.201 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		10.1 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZEB1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 08:27:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2528.5; along Shaft 1628.2; at Toe 900.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2528.5				
1	3.0	3.0	17.8	2510.7	17.8	5.93	4.94	0.761
2	5.0	5.0	32.9	2477.8	50.7	16.45	13.71	0.761
3	7.0	7.0	53.9	2423.9	104.6	26.95	22.46	0.761
4	9.0	9.0	58.6	2365.3	163.2	29.30	24.42	0.761
5	11.0	11.0	44.2	2321.1	207.4	22.10	18.42	0.761
6	13.0	13.0	37.2	2283.9	244.6	18.60	15.50	0.761
7	15.0	15.0	47.2	2236.7	291.8	23.60	19.67	0.761
8	17.0	17.0	57.9	2178.8	349.7	28.95	24.13	0.761
9	19.0	19.0	65.5	2113.3	415.2	32.75	27.29	0.761
10	21.0	21.0	81.7	2031.6	496.9	40.85	34.04	0.761
11	23.0	23.0	102.4	1929.2	599.3	51.20	42.67	0.761
12	25.0	25.0	113.6	1815.6	712.9	56.80	47.33	0.761
13	27.0	27.0	155.4	1660.2	868.3	77.70	64.75	0.761
14	29.0	29.0	297.1	1363.1	1165.4	148.55	123.79	0.761
15	31.0	31.0	462.8	900.3	1628.2	231.40	192.83	0.761
Avg. Shaft			108.5			52.52	43.77	0.761
Toe			900.3				10003.33	0.033

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	13.685
Case Damping Factor			1.421	0.034
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	95
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				6.343
Soil Support Dashpot			1.400	0.000
Soil Support Weight	(kN)		12.00	0.00

CAPWAP match quality	=	3.08	(Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set	=	6.000 mm;	blow count = 167 b/m
Computed: final set	=	8.190 mm;	blow count = 122 b/m
max. Top Comp. Stress	=	37.1 MPa	(T= 21.3 ms, max= 1.009 x Top)
max. Comp. Stress	=	37.4 MPa	(Z= 3.0 m, T= 21.8 ms)
max. Tens. Stress	=	-1.42 MPa	(Z= 23.0 m, T= 76.1 ms)
max. Energy (EMX)	=	61.01 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=25.45 mm

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZEB1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 08:27:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3334.6	-52.8	37.1	-0.59	61.01	3.5	25.149
2	2.0	3357.5	-56.3	37.3	-0.63	60.73	3.5	24.742
4	4.0	3298.0	-61.8	36.6	-0.69	59.06	3.4	23.958
6	6.0	3210.9	-71.6	35.7	-0.80	56.75	3.2	23.286
8	8.0	3170.9	-75.7	35.2	-0.84	53.42	3.1	22.590
10	10.0	2974.5	-82.3	33.0	-0.91	49.97	3.2	21.857
12	12.0	2949.1	-90.2	32.8	-1.00	47.21	3.0	21.010
14	14.0	2822.7	-99.5	31.4	-1.11	44.89	2.9	20.182
16	16.0	2804.6	-106.5	31.2	-1.18	42.16	2.8	19.247
18	18.0	2725.3	-114.1	30.3	-1.27	39.16	2.7	18.338
20	20.0	2692.8	-119.4	29.9	-1.33	36.06	2.6	17.430
21	21.0	2761.2	-126.9	30.7	-1.41	35.69	2.5	16.980
22	22.0	2629.1	-122.7	29.2	-1.36	32.65	2.4	16.548
23	23.0	2695.1	-128.1	29.9	-1.42	32.35	2.3	16.150
24	24.0	2537.6	-119.6	28.2	-1.33	29.01	2.2	15.803
25	25.0	2627.9	-123.4	29.2	-1.37	28.79	2.2	15.463
26	26.0	2339.1	-110.9	26.0	-1.23	25.35	2.1	15.146
27	27.0	2350.2	-114.0	26.1	-1.27	25.17	2.2	14.838
28	28.0	2103.6	-94.8	23.4	-1.05	20.88	2.1	14.549
29	29.0	2169.4	-96.1	24.1	-1.07	20.72	1.9	14.270
30	30.0	1330.9	-59.3	14.8	-0.66	13.80	2.2	13.997
31	31.0	1210.3	-59.3	13.4	-0.66	3.93	2.3	13.709
Absolute	3.0			37.4			(T =	21.8 ms)
	23.0				-1.42		(T =	76.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3946.4	3691.8	3437.1	3182.5	2927.9	2673.2	2418.6	2164.0	1909.3	1654.7
RX	3946.4	3691.8	3437.1	3182.5	2927.9	2673.2	2418.6	2164.0	1909.8	1657.6
RU	3946.4	3691.8	3437.1	3182.5	2927.9	2673.2	2418.6	2164.0	1909.3	1654.7

RAU = 812.0 (kN); RA2 = 1815.0 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2528.5 (kN); Corresponding J(RP)= 0.56; J(RX) = 0.56

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.70	21.05	3225.6	3267.2	3267.2	25.453	5.997	6.000	61.5	3910.0

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	36811.8	25.000	1.200
31.00	900.00	36811.8	25.000	1.200

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZEB1 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 08:27:

Junttan HHK 7A; Blow: 8

CAPWAP(R) 2006-2

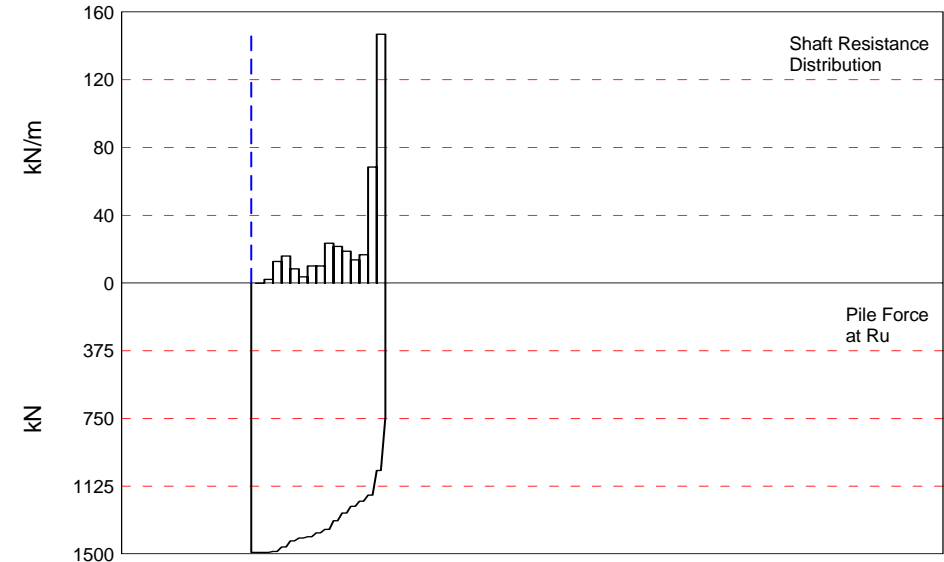
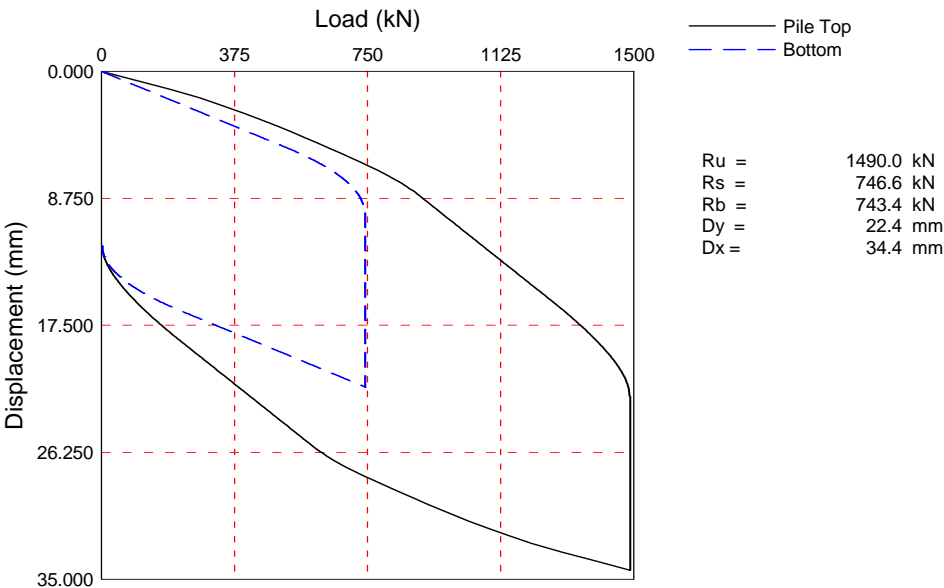
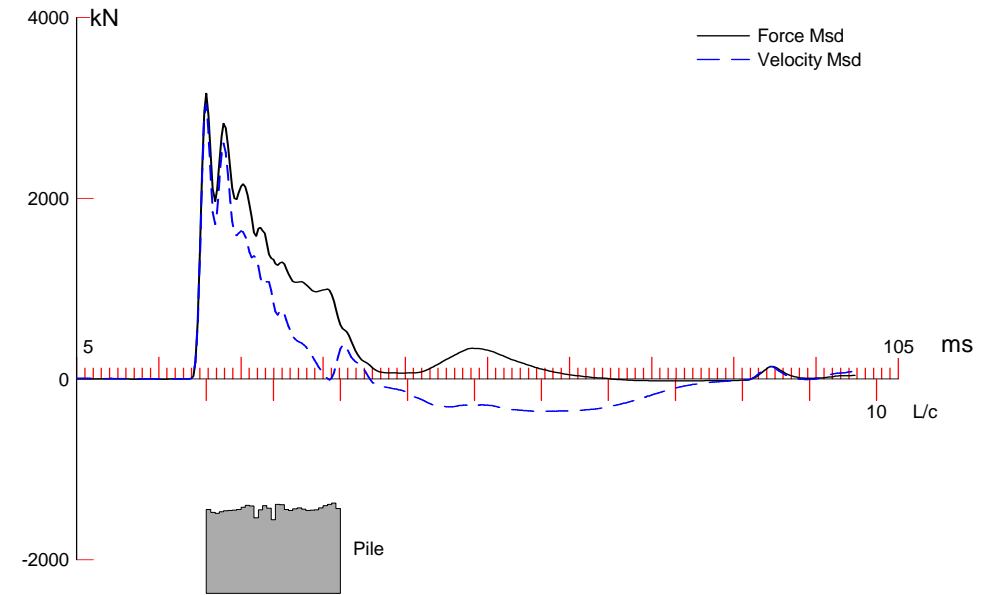
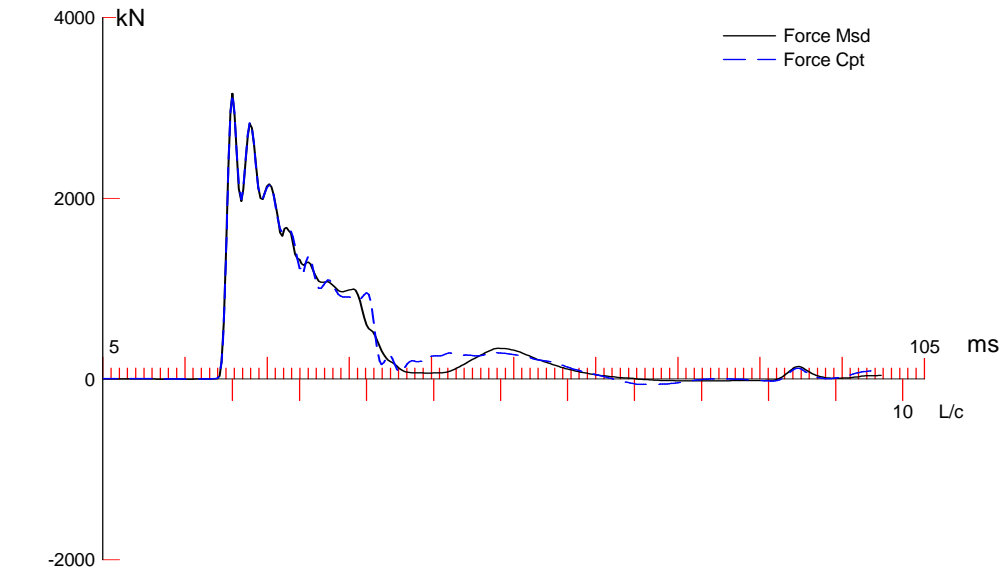
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	871.86	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.00	847.26	-2.82	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
3	3.00	866.96	-0.56	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
4	4.00	874.06	0.25	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
5	5.00	864.16	-0.88	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
6	6.00	860.76	-1.27	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
7	7.00	870.76	-0.13	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
8	8.00	877.06	0.60	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
9	9.00	885.46	1.56	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
10	10.00	886.56	1.69	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
11	11.00	882.86	1.26	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
12	12.00	771.86	-11.47	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
13	13.00	879.06	0.83	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
14	14.00	892.36	2.35	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
15	15.00	791.86	-9.18	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
16	16.00	877.76	0.68	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
17	17.00	885.56	1.57	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
18	18.00	878.36	0.75	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
19	19.00	876.26	0.50	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
20	20.00	879.46	0.87	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
21	21.00	880.16	0.95	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
22	22.00	881.36	1.09	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
23	23.00	882.86	1.26	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
24	24.00	882.96	1.27	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
25	25.00	886.26	1.65	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
26	26.00	895.06	2.66	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
27	27.00	903.56	3.64	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
28	28.00	908.86	4.24	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
29	29.00	904.36	3.73	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
30	30.00	872.46	0.07	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26
31	31.00	836.26	-4.08	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.26

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.263 ms, Wave Speed 3800.0 m/s, 2L/c 16.3 ms



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZEB1
Junttan HHK 5A; Blow: 15
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 15:59:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1490.0; along Shaft 746.6; at Toe 743.4 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1490.0				
1	3.0	3.0	0.0	1490.0	0.0	0.00	0.00	0.000
2	5.0	5.0	4.5	1485.5	4.5	2.25	1.88	1.074
3	7.0	7.0	25.4	1460.1	29.9	12.70	10.58	1.074
4	9.0	9.0	32.0	1428.1	61.9	16.00	13.33	1.074
5	11.0	11.0	16.8	1411.3	78.7	8.40	7.00	1.074
6	13.0	13.0	7.4	1403.9	86.1	3.70	3.08	1.074
7	15.0	15.0	20.4	1383.5	106.5	10.20	8.50	1.074
8	17.0	17.0	20.3	1363.2	126.8	10.15	8.46	1.074
9	19.0	19.0	46.9	1316.3	173.7	23.45	19.54	1.074
10	21.0	21.0	43.3	1273.0	217.0	21.65	18.04	1.074
11	23.0	23.0	37.7	1235.3	254.7	18.85	15.71	1.074
12	25.0	25.0	27.5	1207.8	282.2	13.75	11.46	1.074
13	27.0	27.0	33.7	1174.1	315.9	16.85	14.04	1.074
14	29.0	29.0	137.1	1037.0	453.0	68.55	57.13	1.074
15	31.0	31.0	293.6	743.4	746.6	146.80	122.33	1.074
Avg. Shaft			49.8			24.08	20.07	1.074
Toe			743.4				8260.00	0.036

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	7.504
Case Damping Factor			0.920	0.031
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	80
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		19	
Soil Support Dashpot			0.700	0.000
Soil Support Weight	(kN)		12.00	0.00

CAPWAP match quality	=	3.45	(Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set	=	12.000 mm;	blow count = 83 b/m
Computed: final set	=	12.743 mm;	blow count = 78 b/m
max. Top Comp. Stress	=	35.9 MPa	(T= 21.3 ms, max= 1.015 x Top)
max. Comp. Stress	=	36.4 MPa	(Z= 7.0 m, T= 23.2 ms)
max. Tens. Stress	=	-1.01 MPa	(Z= 7.0 m, T= 72.6 ms)
max. Energy (EMX)	=	44.99 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=22.73 mm

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZEB1
Junttan HHK 5A; Blow: 15
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 15:59:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3232.3	-64.6	35.9	-0.72	44.99	3.4	22.557
2	2.0	3232.2	-67.7	35.9	-0.75	44.96	3.4	22.509
4	4.0	3258.0	-78.4	36.2	-0.87	44.88	3.3	22.334
6	6.0	3229.8	-86.8	35.9	-0.96	44.49	3.2	22.083
8	8.0	3248.7	-83.2	36.1	-0.92	42.85	3.1	21.814
10	10.0	3068.3	-75.5	34.1	-0.84	40.89	3.2	21.526
12	12.0	3063.6	-72.2	34.0	-0.80	39.74	3.0	21.150
14	14.0	2922.5	-68.0	32.5	-0.76	39.14	3.1	20.741
16	16.0	3041.8	-70.6	33.8	-0.78	37.77	2.9	20.239
18	18.0	2934.9	-76.9	32.6	-0.85	36.48	2.9	19.772
20	20.0	2814.3	-75.8	31.3	-0.84	33.94	2.7	19.293
21	21.0	2857.9	-82.3	31.8	-0.91	33.83	2.7	19.067
22	22.0	2729.0	-76.6	30.3	-0.85	31.64	2.7	18.853
23	23.0	2761.5	-83.6	30.7	-0.93	31.55	2.7	18.640
24	24.0	2646.1	-80.1	29.4	-0.89	29.65	2.7	18.430
25	25.0	2681.0	-86.3	29.8	-0.96	29.56	2.6	18.215
26	26.0	2612.3	-83.7	29.0	-0.93	28.16	2.7	18.007
27	27.0	2657.1	-88.8	29.5	-0.99	28.09	3.0	17.805
28	28.0	2690.3	-83.8	29.9	-0.93	26.39	2.8	17.610
29	29.0	2623.6	-87.5	29.2	-0.97	26.30	2.5	17.414
30	30.0	1799.6	-81.8	20.0	-0.91	20.65	3.0	17.211
31	31.0	1548.3	-61.0	17.2	-0.68	10.70	3.2	16.990
Absolute	7.0			36.4			(T =	23.2 ms)
	7.0				-1.01		(T =	72.6 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3302.0	3000.7	2699.3	2398.0	2096.7	1795.4	1494.1	1192.7	891.4	590.1
RX	3302.0	3000.7	2699.3	2398.0	2096.7	1795.4	1494.1	1192.7	891.4	645.1
RU	3362.8	3067.6	2772.3	2477.1	2181.8	1886.6	1591.4	1296.1	1000.9	705.6
RAU =	597.0 (kN);		RA2 =		951.1 (kN)					

Current CAPWAP Ru = 1490.0 (kN); Corresponding J(RP)= 0.60; J(RX) = 0.60

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.56	21.05	3103.4	3211.7	3211.7	22.727	12.002	12.000	45.3	2606.3

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	36811.8	25.000	1.200
31.00	900.00	36811.8	25.000	1.200

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZEB1

Test: 04-Mar-2015 15:59:

Junttan HHK 5A; Blow: 15

CAPWAP(R) 2006-2

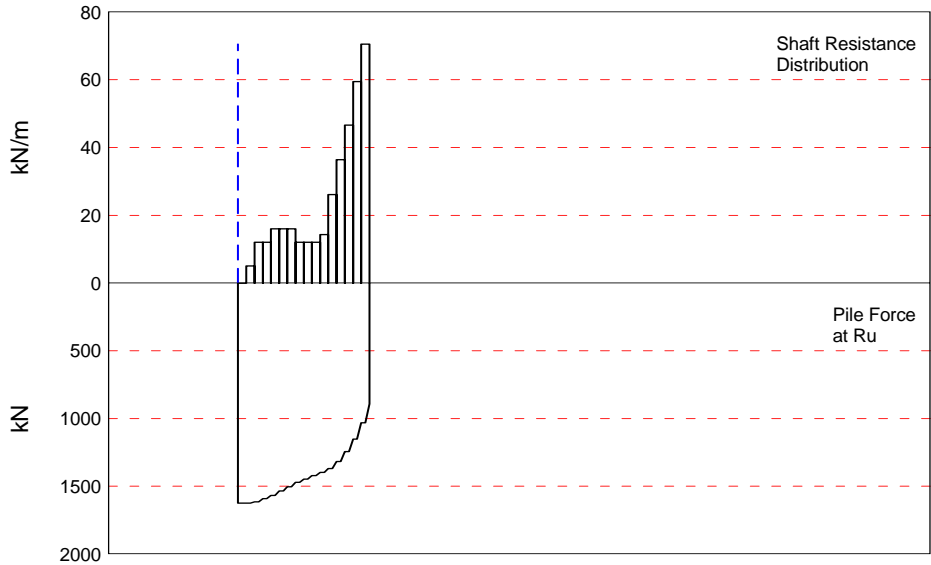
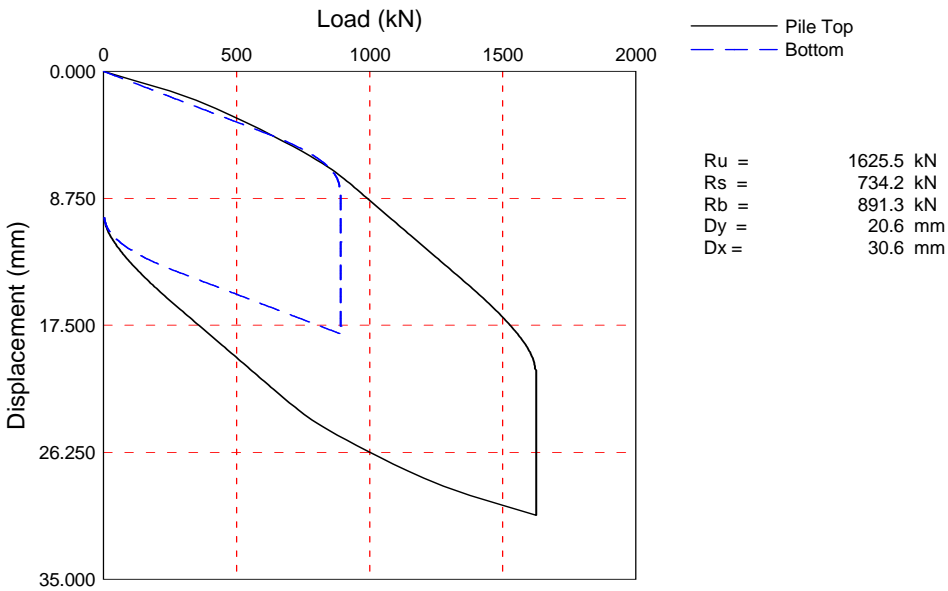
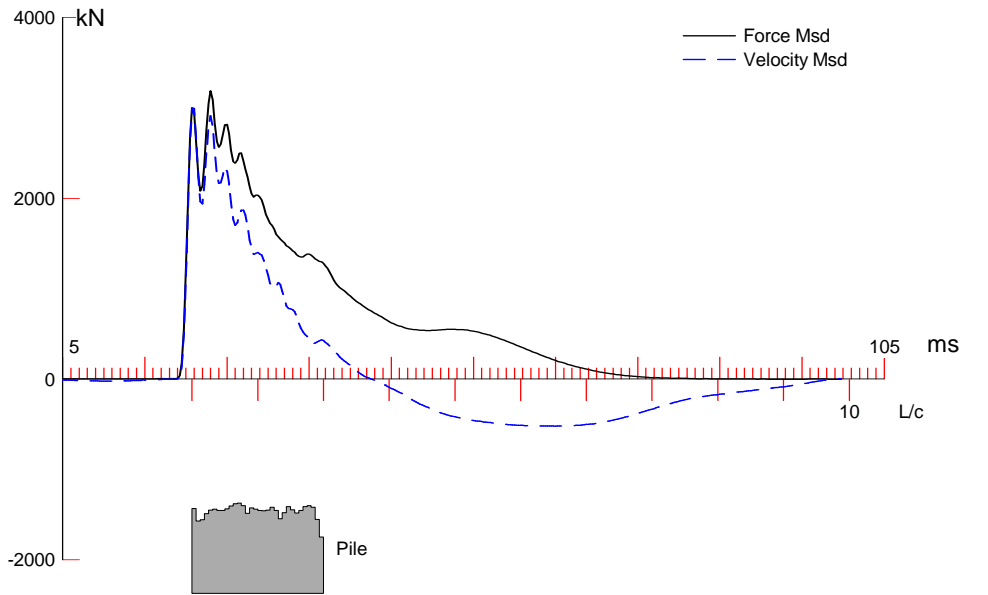
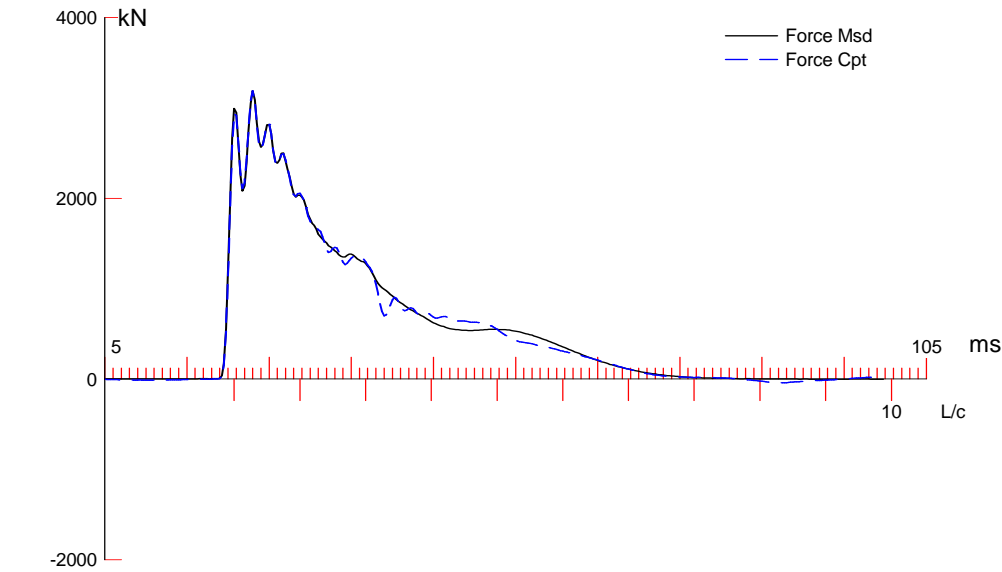
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	871.86	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.00	842.66	-3.35	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
3	3.00	832.66	-4.50	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
4	4.00	851.16	-2.37	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
5	5.00	859.06	-1.47	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
6	6.00	861.26	-1.22	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
7	7.00	865.36	-0.75	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
8	8.00	871.86	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
9	9.00	896.06	2.78	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
10	10.00	914.86	4.93	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
11	11.00	909.06	4.27	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
12	12.00	784.66	-10.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
13	13.00	867.76	-0.47	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
14	14.00	912.76	4.69	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
15	15.00	885.16	1.53	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
16	16.00	767.26	-12.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
17	17.00	926.36	6.25	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
18	18.00	923.76	5.95	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
19	19.00	871.56	-0.03	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
20	20.00	860.96	-1.25	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
21	21.00	880.46	0.99	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
22	22.00	888.26	1.88	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
23	23.00	875.86	0.46	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
24	24.00	864.06	-0.89	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
25	25.00	864.66	-0.83	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
26	26.00	869.26	-0.30	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
27	27.00	890.56	2.14	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
28	28.00	911.66	4.56	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
29	29.00	925.66	6.17	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
30	30.00	938.56	7.65	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32
31	31.00	882.56	1.23	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.32

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.263 ms, Wave Speed 3800.0 m/s, 2L/c 16.3 ms



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZEB2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 08:12:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1625.5; along Shaft 734.2; at Toe 891.3 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1625.5				
1	2.0	2.0	0.0	1625.5	0.0	0.00	0.00	0.000
2	4.0	4.0	10.2	1615.3	10.2	5.10	4.25	0.652
3	6.0	6.0	24.1	1591.2	34.3	12.05	10.04	0.652
4	8.0	8.0	24.1	1567.1	58.4	12.05	10.04	0.652
5	10.0	10.0	32.1	1535.0	90.5	16.05	13.37	0.652
6	12.0	12.0	32.1	1502.9	122.6	16.05	13.37	0.652
7	14.0	14.0	32.1	1470.8	154.7	16.05	13.37	0.652
8	16.0	16.0	24.1	1446.7	178.8	12.05	10.04	0.652
9	18.0	18.0	24.1	1422.6	202.9	12.05	10.04	0.652
10	20.0	20.0	24.1	1398.5	227.0	12.05	10.04	0.652
11	22.0	22.0	28.7	1369.8	255.7	14.35	11.96	0.652
12	24.0	24.0	52.3	1317.5	308.0	26.15	21.79	0.652
13	26.0	26.0	72.9	1244.6	380.9	36.45	30.37	0.652
14	28.0	28.0	93.2	1151.4	474.1	46.60	38.83	0.652
15	30.0	30.0	119.0	1032.4	593.1	59.50	49.58	0.652
16	32.0	32.0	141.1	891.3	734.2	70.55	58.79	0.652
Avg. Shaft			45.9			22.94	19.12	0.652
Toe			891.3				9903.33	0.379

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	6.228
Case Damping Factor			0.522	0.368
Unloading Quake	(% of loading quake)		47	100
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Soil Plug Weight	(kN)			1.63
Soil Support Dashpot			0.500	0.000
Soil Support Weight	(kN)		12.00	0.00

CAPWAP match quality = 2.60 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 10.000 mm; blow count = 100 b/m
Computed: final set = 16.600 mm; blow count = 60 b/m
max. Top Comp. Stress = 35.4 MPa (T= 23.5 ms, max= 1.050 x Top)
max. Comp. Stress = 37.2 MPa (Z= 6.0 m, T= 25.0 ms)
max. Tens. Stress = -1.47 MPa (Z= 24.0 m, T= 81.0 ms)
max. Energy (EMX) = 64.62 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=28.36 mm

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZEB2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 8
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 08:12:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3189.3	-46.0	35.4	-0.51	64.62	3.3	28.882
2	2.0	3208.2	-47.6	35.6	-0.53	64.51	3.2	28.639
4	4.0	3303.3	-54.5	36.7	-0.61	64.24	3.1	28.149
6	6.0	3349.4	-60.5	37.2	-0.67	63.35	3.1	27.668
8	8.0	3247.9	-65.8	36.1	-0.73	61.68	3.0	27.191
10	10.0	3270.2	-71.1	36.3	-0.79	60.04	2.9	26.705
12	12.0	3141.5	-80.5	34.9	-0.89	57.98	2.9	26.211
14	14.0	3126.9	-90.4	34.7	-1.00	55.93	2.8	25.677
16	16.0	2974.4	-101.0	33.0	-1.12	53.92	2.9	25.133
18	18.0	3019.1	-110.8	33.5	-1.23	52.31	2.7	24.549
20	20.0	2953.6	-119.9	32.8	-1.33	50.73	2.8	23.962
22	22.0	3032.2	-127.0	33.7	-1.41	49.13	2.6	23.311
23	23.0	3033.3	-127.7	33.7	-1.42	47.56	2.6	22.988
24	24.0	3053.9	-132.5	33.9	-1.47	47.37	2.6	22.687
25	25.0	2853.5	-129.7	31.7	-1.44	44.85	2.6	22.387
26	26.0	2797.2	-131.8	31.1	-1.46	44.66	2.6	22.075
27	27.0	2642.4	-124.1	29.4	-1.38	41.41	2.6	21.815
28	28.0	2685.2	-125.1	29.8	-1.39	41.29	2.8	21.584
29	29.0	2373.2	-113.9	26.4	-1.27	37.39	3.0	21.354
30	30.0	2309.9	-114.0	25.7	-1.27	37.26	2.8	21.116
31	31.0	2214.7	-98.2	24.6	-1.09	32.53	2.5	20.837
32	32.0	2197.6	-96.9	24.4	-1.08	27.37	3.0	20.468
Absolute	6.0			37.2			(T =	25.0 ms)
	24.0				-1.47		(T =	81.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3503.9	3238.5	2973.1	2707.7	2442.3	2176.9	1911.5	1646.1	1380.7	1115.3
RX	3503.9	3238.5	2973.1	2707.7	2442.3	2176.9	1911.5	1646.1	1380.7	1115.3
RU	3503.9	3238.5	2973.1	2707.7	2442.3	2176.9	1911.5	1646.1	1380.7	1115.3

RAU = 971.1 (kN); RA2 = 1489.2 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1625.5 (kN); Corresponding J(RP)= 0.71; J(RX) = 0.71

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.37	21.00	3095.1	3062.8	3216.9	28.359	9.999	10.000	64.6	3367.7

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	40788.6	25.000	1.200
32.00	900.00	40788.6	25.000	1.200

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZEB2 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 08:12:

Junttan HHK 7A; Blow: 8

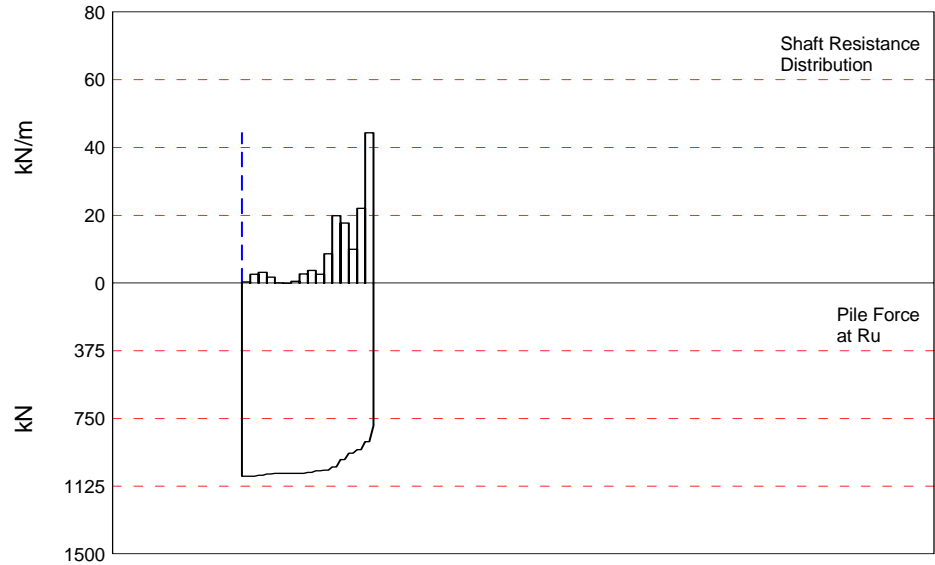
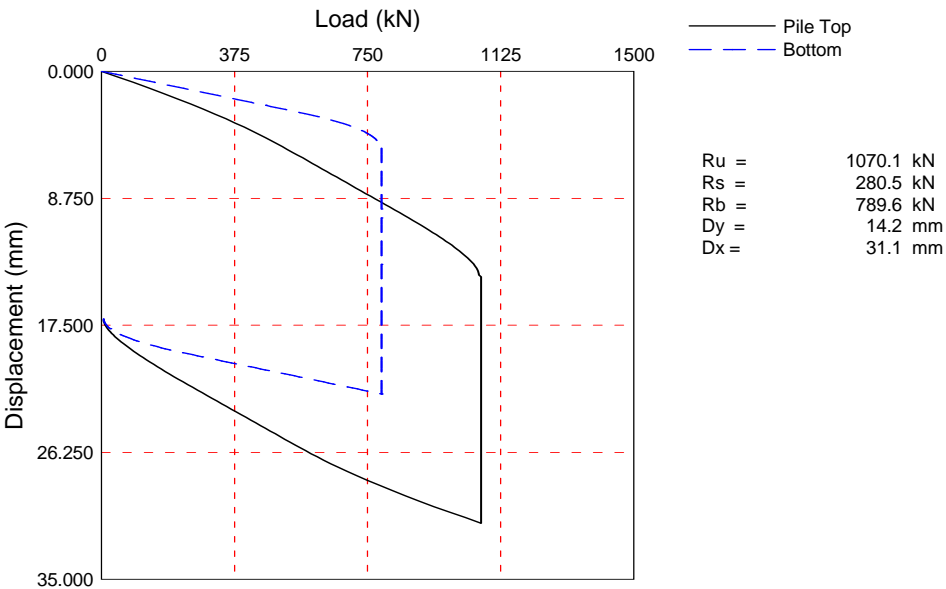
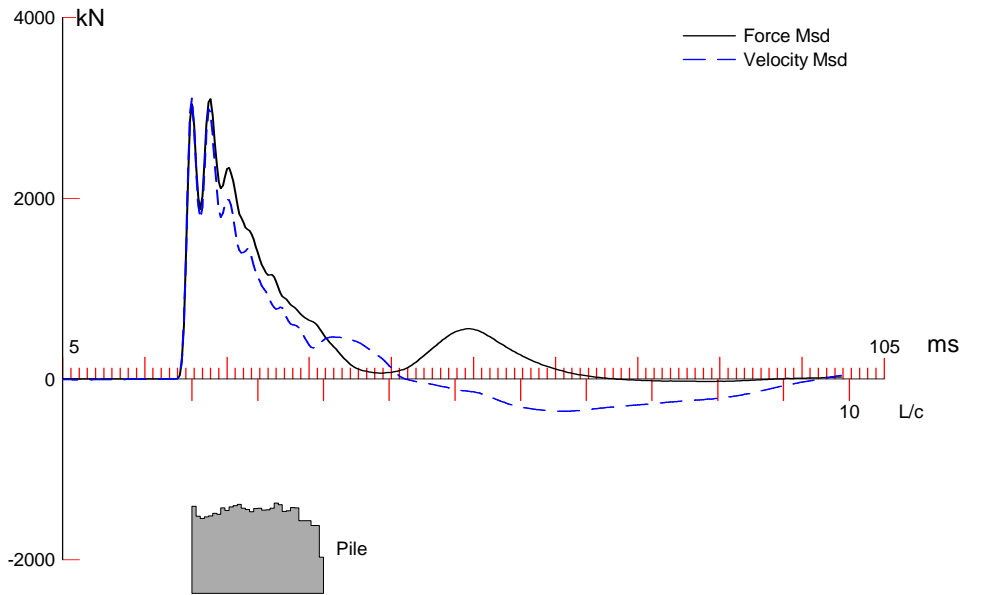
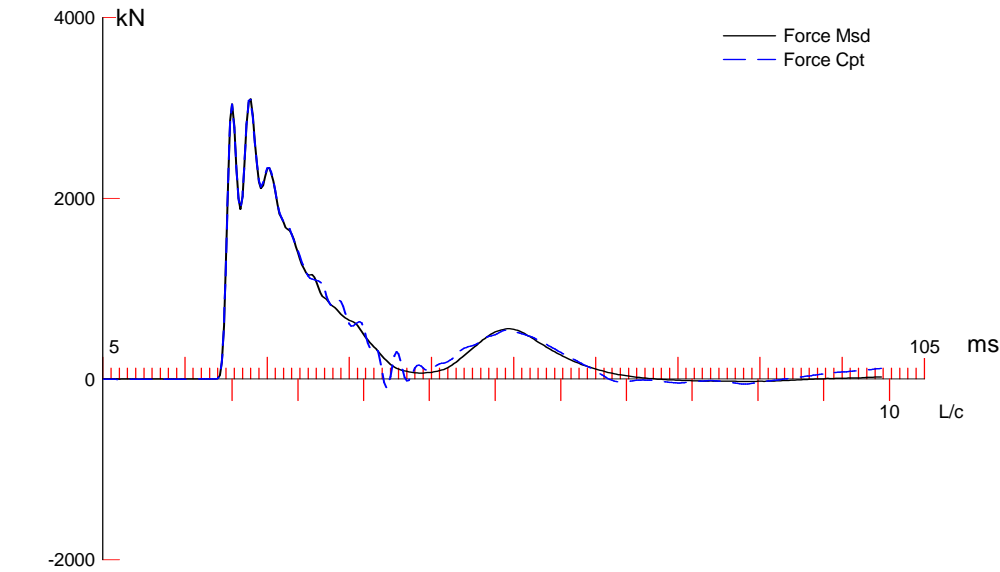
CAPWAP(R) 2006-2

Inspecta

OP: TRe

Toe Area		0.090		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	917.74	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.00	784.24	-14.55	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
3	3.00	796.14	-13.25	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
4	4.00	863.54	-5.91	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
5	5.00	900.24	-1.91	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
6	6.00	910.74	-0.76	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
7	7.00	897.54	-2.20	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
8	8.00	898.34	-2.11	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
9	9.00	914.04	-0.40	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
10	10.00	944.44	2.91	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
11	11.00	970.94	5.80	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
12	12.00	976.04	6.35	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
13	13.00	948.64	3.37	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
14	14.00	867.34	-5.49	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
15	15.00	923.64	0.64	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
16	16.00	911.44	-0.69	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
17	17.00	895.24	-2.45	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
18	18.00	893.54	-2.64	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
19	19.00	899.24	-2.02	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
20	20.00	932.04	1.56	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
21	21.00	896.34	-2.33	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
22	22.00	807.14	-12.05	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
23	23.00	872.24	-4.96	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
24	24.00	937.94	2.20	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
25	25.00	904.04	-1.49	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
26	26.00	868.44	-5.37	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
27	27.00	897.74	-2.18	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
28	28.00	939.24	2.34	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
29	29.00	950.04	3.52	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
30	30.00	930.84	1.43	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
31	31.00	800.94	-12.73	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31
32	32.00	608.04	-33.75	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.31

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.250 ms, Wave Speed 4000.0 m/s, 2L/c 16.0 ms



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZEB2
Junttan HHK 5A; Blow: 5
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 15:47:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1070.1; along Shaft 280.5; at Toe 789.6 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1070.1				
1	2.0	2.0	0.7	1069.4	0.7	0.35	0.29	1.474
2	4.0	4.0	5.3	1064.1	6.0	2.65	2.21	1.474
3	6.0	6.0	6.4	1057.7	12.4	3.20	2.67	1.474
4	8.0	8.0	3.6	1054.1	16.0	1.80	1.50	1.474
5	10.0	10.0	0.1	1054.0	16.1	0.05	0.04	1.474
6	12.0	12.0	0.0	1054.0	16.1	0.00	0.00	0.000
7	14.0	14.0	1.1	1052.9	17.2	0.55	0.46	1.474
8	16.0	16.0	5.4	1047.5	22.6	2.70	2.25	1.474
9	18.0	18.0	7.4	1040.1	30.0	3.70	3.08	1.474
10	20.0	20.0	5.2	1034.9	35.2	2.60	2.17	1.474
11	22.0	22.0	17.3	1017.6	52.5	8.65	7.21	1.474
12	24.0	24.0	39.7	977.9	92.2	19.85	16.54	1.474
13	26.0	26.0	35.5	942.4	127.7	17.75	14.79	1.474
14	28.0	28.0	19.9	922.5	147.6	9.95	8.29	1.474
15	30.0	30.0	44.1	878.4	191.7	22.05	18.37	1.474
16	32.0	32.0	88.8	789.6	280.5	44.40	37.00	1.474
Avg. Shaft			17.5			8.77	7.30	1.474
Toe			789.6				8773.33	0.307

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	4.007
Case Damping Factor			0.451	0.264
Damping Type			Smith	
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	100
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		1	
Soil Plug Weight	(kN)			2.26
Soil Support Dashpot			0.200	4.349
Soil Support Weight	(kN)		12.00	12.00

CAPWAP match quality = 2.65 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 17.000 mm; blow count = 59 b/m
Computed: final set = 20.047 mm; blow count = 50 b/m
max. Top Comp. Stress = 34.8 MPa (T= 23.5 ms, max= 1.037 x Top)
max. Comp. Stress = 36.1 MPa (Z= 6.0 m, T= 24.8 ms)
max. Tens. Stress = -1.54 MPa (Z= 32.0 m, T= 28.8 ms)
max. Energy (EMX) = 49.81 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=28.21 mm

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZEB2
Junttan HHK 5A; Blow: 5
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 15:47:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3133.1	-69.3	34.8	-0.77	49.81	3.3	27.941
2	2.0	3156.1	-59.3	35.1	-0.66	49.79	3.3	27.883
4	4.0	3221.1	-62.6	35.8	-0.70	49.67	3.2	27.741
6	6.0	3249.8	-65.6	36.1	-0.73	49.12	3.1	27.582
8	8.0	3179.0	-68.9	35.3	-0.77	48.50	3.1	27.409
10	10.0	3199.6	-74.0	35.6	-0.82	48.10	3.1	27.209
12	12.0	3168.2	-79.3	35.2	-0.88	48.03	3.0	26.985
14	14.0	3140.6	-83.3	34.9	-0.93	47.94	3.1	26.719
16	16.0	3229.2	-84.7	35.9	-0.94	47.74	3.0	26.437
18	18.0	3115.0	-85.8	34.6	-0.95	47.17	3.0	26.156
20	20.0	3234.7	-85.7	35.9	-0.95	46.40	2.9	25.846
22	22.0	3059.5	-87.4	34.0	-0.97	45.84	3.0	25.534
23	23.0	3017.7	-87.2	33.5	-0.97	44.28	2.9	25.364
24	24.0	3070.8	-87.4	34.1	-0.97	44.22	2.9	25.190
25	25.0	2850.7	-88.0	31.7	-0.98	41.03	3.0	25.014
26	26.0	2755.3	-90.4	30.6	-1.00	40.97	3.2	24.829
27	27.0	2585.7	-96.4	28.7	-1.07	37.98	3.1	24.604
28	28.0	2599.9	-99.8	28.9	-1.11	37.89	3.2	24.380
29	29.0	2471.0	-94.1	27.5	-1.05	36.12	3.6	24.167
30	30.0	2225.3	-106.8	24.7	-1.19	36.05	3.7	23.937
31	31.0	2259.1	-76.5	25.1	-0.85	32.40	3.2	23.703
32	32.0	2292.8	-138.9	25.5	-1.54	26.53	3.7	23.267
Absolute	6.0			36.1			(T =	24.8 ms)
	32.0				-1.54		(T =	28.8 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3186.1	2875.8	2565.5	2255.2	1944.9	1634.6	1324.3	1014.1	703.8	393.5
RX	3186.1	2875.8	2565.5	2255.2	1944.9	1634.6	1324.3	1014.1	703.8	696.7
RU	3186.1	2875.8	2565.5	2255.2	1944.9	1634.6	1324.3	1014.1	703.8	393.5

RAU = 691.6 (kN); RA2 = 757.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1070.1 (kN); Corresponding J(RP)= 0.68; J(RX) = 0.68

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.47	21.00	3188.4	3100.6	3138.4	28.209	17.002	17.000	50.3	2224.7

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	40788.6	25.000	1.200
32.00	900.00	40788.6	25.000	1.200

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZEB2

Test: 04-Mar-2015 15:47:

Junttan HHK 5A; Blow: 5

CAPWAP(R) 2006-2

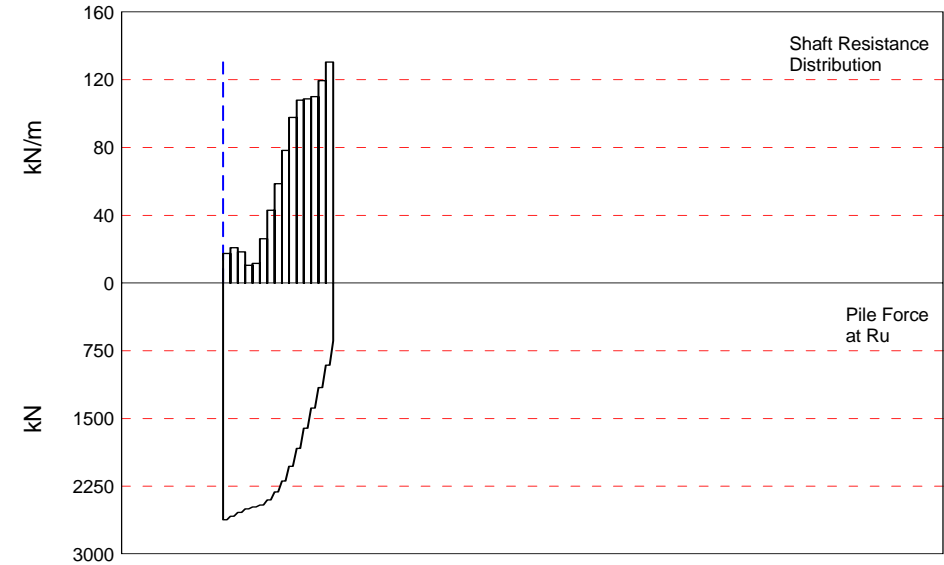
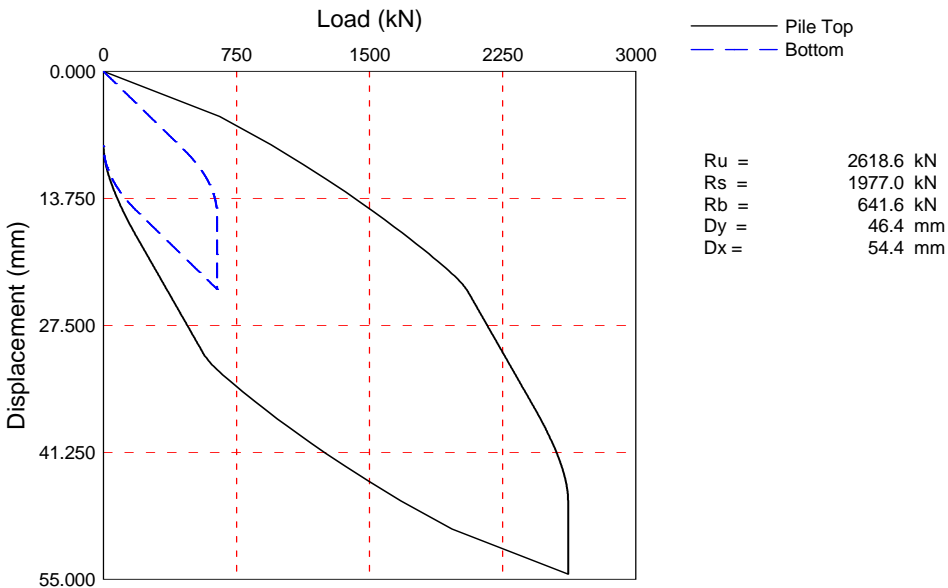
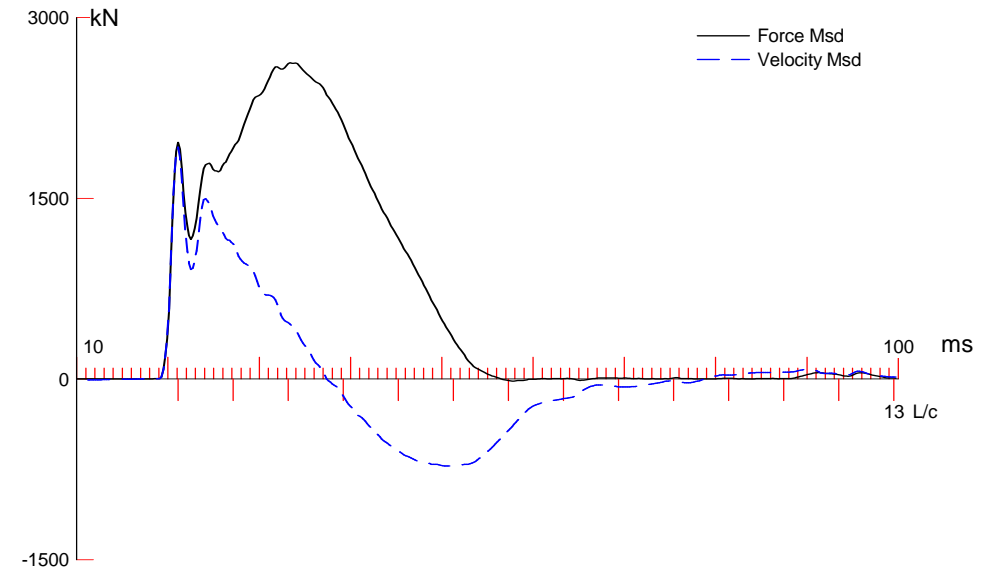
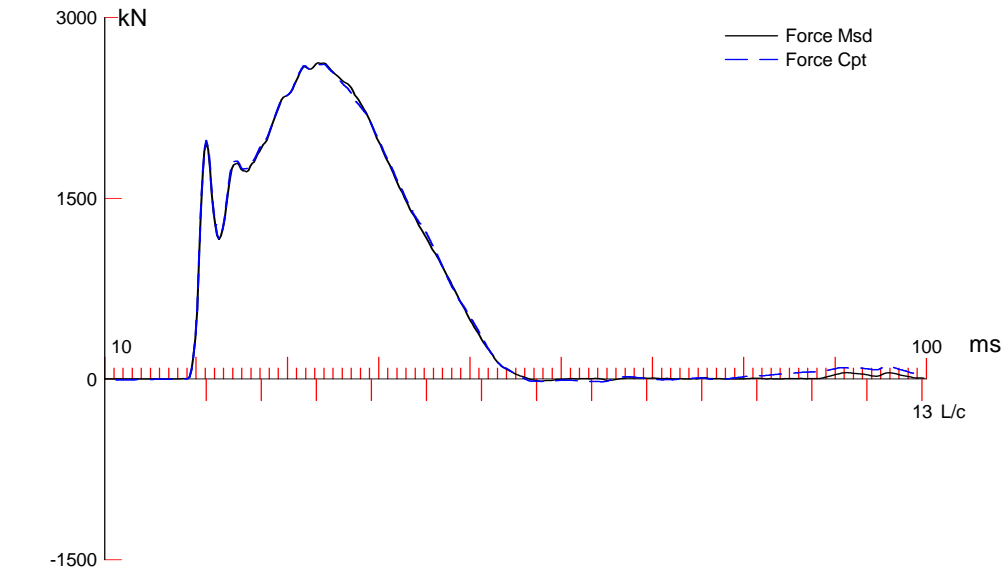
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	917.74	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.00	815.04	-11.19	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.34
3	3.00	790.34	-13.88	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
4	4.00	808.14	-11.94	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
5	5.00	816.44	-11.04	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
6	6.00	844.24	-8.01	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
7	7.00	834.54	-9.07	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
8	8.00	901.34	-1.79	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
9	9.00	873.94	-4.77	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
10	10.00	910.84	-0.75	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
11	11.00	926.74	0.98	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
12	12.00	939.24	2.34	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
13	13.00	897.74	-2.18	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
14	14.00	886.74	-3.38	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
15	15.00	860.54	-6.23	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
16	16.00	894.04	-2.58	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
17	17.00	898.14	-2.14	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
18	18.00	877.44	-4.39	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
19	19.00	881.14	-3.99	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
20	20.00	900.34	-1.90	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
21	21.00	952.34	3.77	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
22	22.00	936.54	2.05	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
23	23.00	864.94	-5.75	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
24	24.00	871.44	-5.04	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
25	25.00	905.14	-1.37	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
26	26.00	903.24	-1.58	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
27	27.00	767.74	-16.34	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
30	30.00	717.74	-21.79	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
32	32.00	383.04	-58.26	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.250 ms, Wave Speed 4000.0 m/s, 2L/c 16.0 ms



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 50
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 11:54:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2618.6; along Shaft 1977.0; at Toe 641.6 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2618.6				
1	2.1	2.1	36.0	2582.6	36.0	17.48	17.17	0.386
2	4.1	4.1	43.0	2539.6	79.0	20.87	20.51	0.386
3	6.2	6.2	38.1	2501.5	117.1	18.50	18.18	0.386
4	8.2	8.2	21.8	2479.7	138.9	10.58	10.40	0.386
5	10.3	10.3	24.1	2455.6	163.0	11.70	11.50	0.386
6	12.4	12.4	54.1	2401.5	217.1	26.26	25.81	0.386
7	14.4	14.4	88.7	2312.8	305.8	43.06	42.32	0.386
8	16.5	16.5	121.0	2191.8	426.8	58.74	57.72	0.386
9	18.5	18.5	161.1	2030.7	587.9	78.20	76.85	0.386
10	20.6	20.6	201.4	1829.3	789.3	97.77	96.08	0.386
11	22.7	22.7	222.4	1606.9	1011.7	107.96	106.10	0.386
12	24.7	24.7	223.8	1383.1	1235.5	108.64	106.77	0.386
13	26.8	26.8	226.6	1156.5	1462.1	110.00	108.10	0.386
14	28.8	28.8	246.1	910.4	1708.2	119.47	117.40	0.386
15	30.9	30.9	268.8	641.6	1977.0	130.49	128.23	0.386
Avg. Shaft			131.8			63.98	62.88	0.386
Toe			641.6				7786.68	0.371

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	12.000
Case Damping Factor			1.887	0.589
Unloading Quake	(% of loading quake)		35	214
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		1	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				8.622
Soil Plug Weight	(kN)			0.21
Soil Support Dashpot			4.446	0.000
Soil Support Weight	(kN)		10.48	0.00

CAPWAP match quality = 0.97 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 8.000 mm; blow count = 125 b/m
Computed: final set = 8.344 mm; blow count = 120 b/m
max. Top Comp. Stress = 266.7 MPa (T= 33.8 ms, max= 1.010 x Top)
max. Comp. Stress = 269.5 MPa (Z= 2.1 m, T= 32.4 ms)
max. Tens. Stress = -12.12 MPa (Z= 12.4 m, T= 58.1 ms)
max. Energy (EMX) = 69.90 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=37.07 mm

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 50
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 11:54:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2630.1	-40.1	266.7	-4.07	69.90	4.6	36.024
2	2.1	2657.2	-57.4	269.5	-5.82	68.61	4.6	34.886
4	4.1	2641.0	-75.9	267.8	-7.70	63.67	4.4	32.651
6	6.2	2617.5	-90.4	265.4	-9.17	58.64	4.3	30.469
8	8.2	2593.5	-99.4	263.0	-10.08	54.27	4.2	28.350
10	10.3	2571.1	-110.2	260.7	-11.17	51.04	4.1	26.296
12	12.4	2540.8	-119.5	257.7	-12.12	47.98	3.9	24.317
14	14.4	2472.4	-117.2	250.7	-11.88	44.03	3.6	22.411
16	16.5	2360.7	-103.5	239.4	-10.49	39.28	3.3	20.555
18	18.5	2205.6	-80.1	223.7	-8.12	34.17	2.9	18.788
19	19.6	1997.6	-41.9	202.6	-4.25	29.49	2.7	17.991
20	20.6	2000.5	-48.1	202.9	-4.88	28.95	2.4	17.256
21	21.6	1748.5	-4.5	177.3	-0.46	24.15	2.2	16.569
22	22.7	1750.8	-11.0	177.5	-1.12	23.67	2.0	15.876
23	23.7	1472.7	-1.0	149.3	-0.10	19.10	1.8	15.251
24	24.7	1472.8	-1.1	149.3	-0.11	18.74	1.6	14.661
25	25.8	1192.2	-1.1	120.9	-0.12	14.73	1.5	14.156
26	26.8	1204.7	-1.5	122.2	-0.15	14.47	1.3	13.649
27	27.8	999.3	-1.4	101.3	-0.15	10.83	1.2	13.201
28	28.8	1013.9	-1.8	102.8	-0.18	10.64	1.1	12.772
29	29.9	806.5	-1.4	81.8	-0.15	7.12	1.1	12.408
30	30.9	811.6	-1.9	82.3	-0.19	3.31	1.0	12.043
Absolute	2.1			269.5			(T =	32.4 ms)
	12.4				-12.12		(T =	58.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3031.0	2942.4	2853.8	2765.1	2676.5	2587.9	2499.3	2410.6	2322.0	2233.4
RX	3038.7	2950.6	2862.5	2774.4	2686.2	2598.1	2529.6	2484.5	2439.4	2396.7
RU	3031.0	2942.4	2853.8	2765.1	2676.5	2587.9	2499.3	2410.6	2322.0	2233.4

RAU = 2214.6 (kN); RA2 = 2375.3 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2618.6 (kN); Corresponding J(RP)= 0.47; J(RX) = 0.48

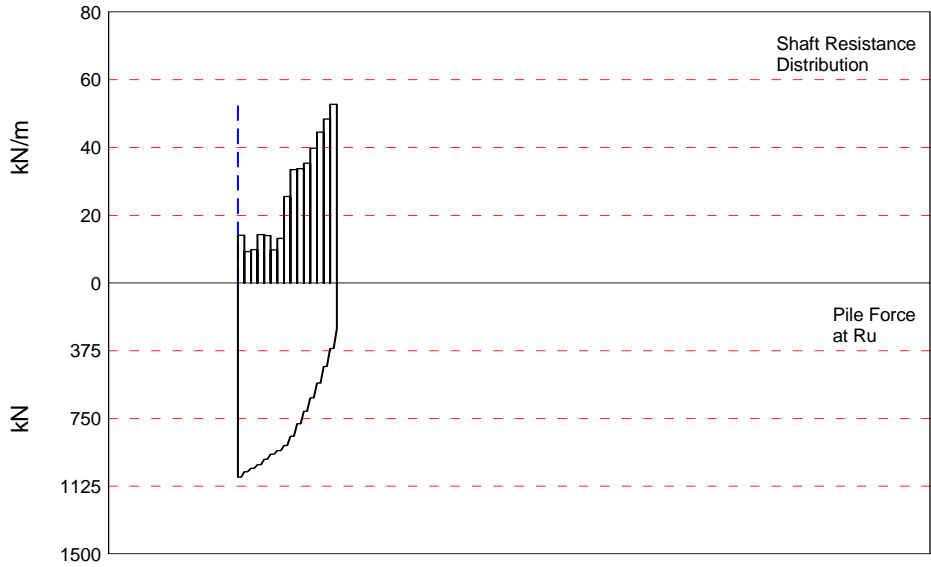
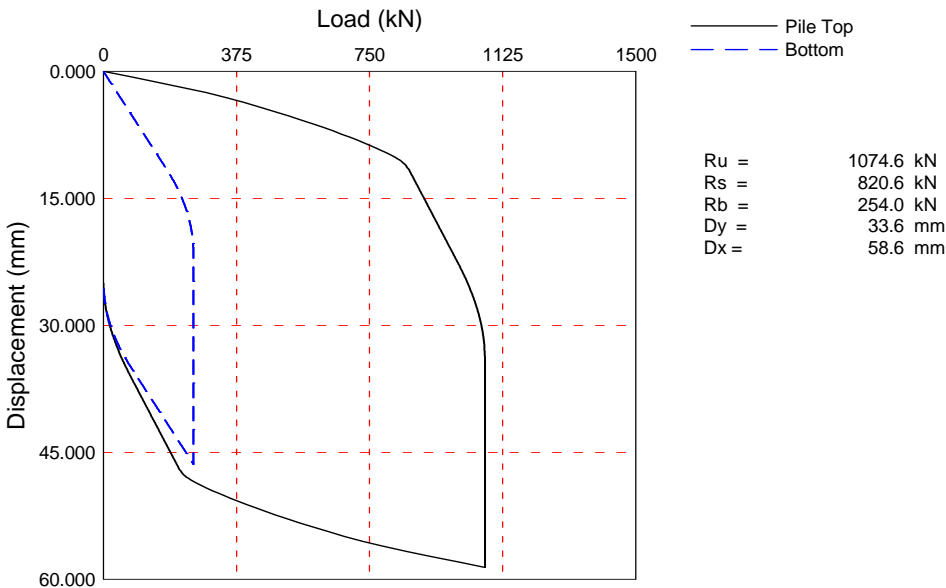
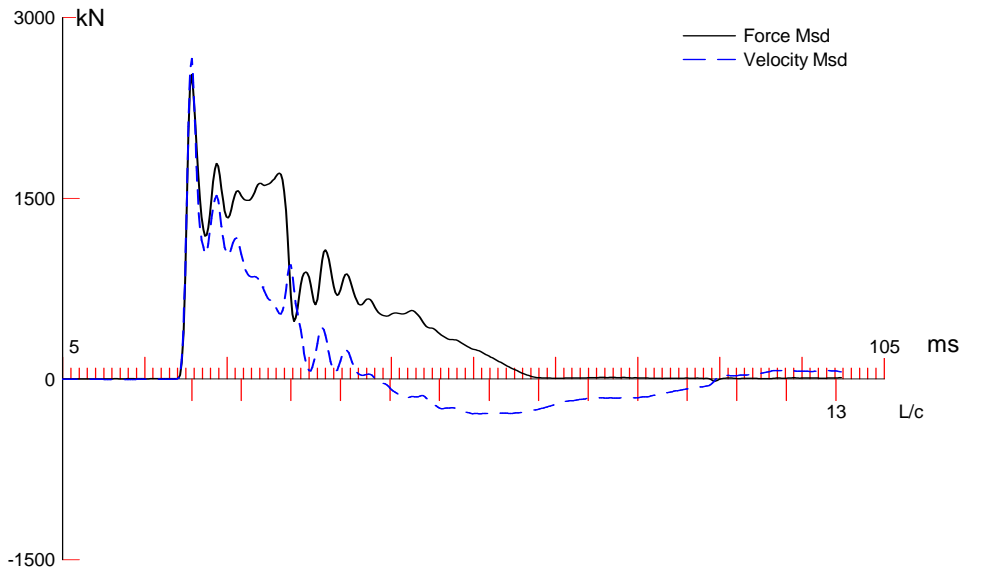
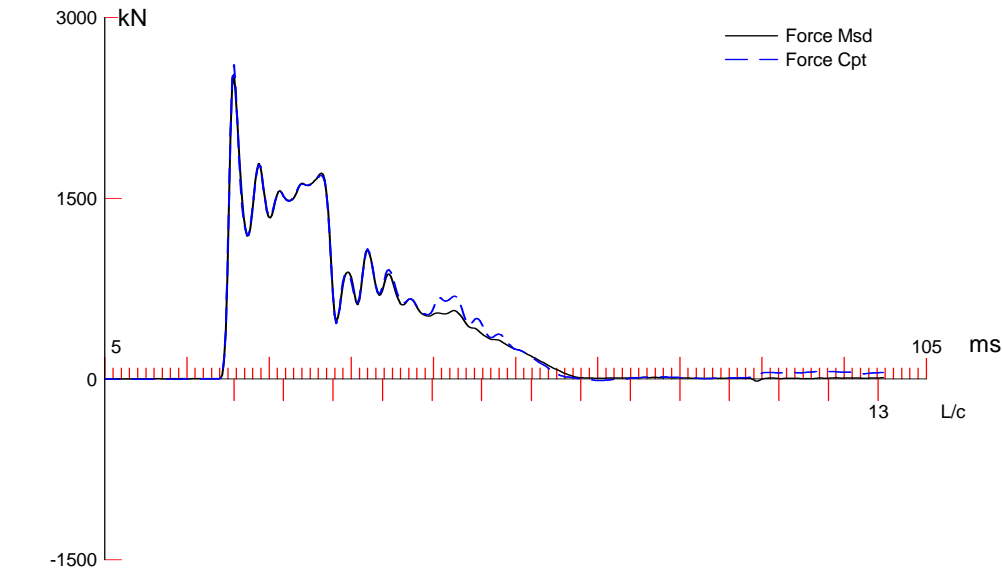
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
4.82	21.32	1947.5	1969.8	2627.5	37.074	7.990	8.000	71.0	3148.6

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
30.90	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET1 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 50
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 11:54:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.03	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.06	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
3	3.09	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
30	30.90	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.201 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		12.1 ms	



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET1
Junttan HHK 5A; Blow: 35
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:51:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1074.6; along Shaft 820.6; at Toe 254.0 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1074.6				
1	2.1	2.1	29.2	1045.4	29.2	14.17	13.93	0.384
2	4.1	4.1	19.3	1026.1	48.5	9.37	9.21	0.384
3	6.2	6.2	20.3	1005.8	68.8	9.85	9.68	0.384
4	8.2	8.2	29.4	976.4	98.2	14.27	14.03	0.384
5	10.3	10.3	28.9	947.5	127.1	14.03	13.79	0.384
6	12.4	12.4	20.2	927.3	147.3	9.81	9.64	0.384
7	14.4	14.4	27.1	900.2	174.4	13.16	12.93	0.384
8	16.5	16.5	52.6	847.6	227.0	25.53	25.09	0.384
9	18.5	18.5	68.9	778.7	295.9	33.45	32.87	0.384
10	20.6	20.6	69.6	709.1	365.5	33.79	33.20	0.384
11	22.7	22.7	72.9	636.2	438.4	35.39	34.78	0.384
12	24.7	24.7	82.0	554.2	520.4	39.81	39.12	0.384
13	26.8	26.8	91.7	462.5	612.1	44.51	43.75	0.384
14	28.8	28.8	99.7	362.8	711.8	48.40	47.56	0.384
15	30.9	30.9	108.8	254.0	820.6	52.82	51.90	0.384
Avg. Shaft			54.7			26.56	26.10	0.384
Toe			254.0				3082.63	0.080

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.929	16.494
Case Damping Factor			0.779	0.050
Unloading Quake	(% of loading quake)		300	147
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				7.311
Soil Plug Weight	(kN)			0.31
Soil Support Dashpot			1.000	9.877
Soil Support Weight	(kN)		10.48	10.48

CAPWAP match quality = 1.53 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 25.000 mm; blow count = 40 b/m
Computed: final set = 26.505 mm; blow count = 38 b/m
max. Top Comp. Stress = 266.8 MPa (T= 21.1 ms, max= 1.008 x Top)
max. Comp. Stress = 268.8 MPa (Z= 2.1 m, T= 21.3 ms)
max. Tens. Stress = -24.65 MPa (Z= 27.8 m, T= 27.8 ms)
max. Energy (EMX) = 61.75 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=40.84 mm

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET1
Junttan HHK 5A; Blow: 35
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:51:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2630.7	-18.7	266.8	-1.90	61.75	6.3	40.328
2	2.1	2650.4	-23.4	268.8	-2.38	61.66	6.3	40.033
4	4.1	2582.2	-24.5	261.8	-2.49	59.14	6.2	39.465
6	6.2	2552.2	-26.6	258.8	-2.69	57.40	6.1	38.855
8	8.2	2529.8	-26.0	256.5	-2.64	55.62	6.0	38.231
10	10.3	2474.6	-22.1	250.9	-2.24	53.25	5.9	37.661
12	12.4	2413.7	-18.1	244.8	-1.84	50.92	5.8	37.022
14	14.4	2398.0	-15.1	243.2	-1.53	49.17	5.6	36.258
16	16.5	2394.7	-11.0	242.8	-1.11	46.97	5.4	35.473
18	18.5	2332.6	-7.9	236.5	-0.81	43.24	5.2	34.782
19	19.6	2175.8	-2.8	220.6	-0.29	38.81	5.0	34.480
20	20.6	2227.2	-3.7	225.9	-0.37	38.69	4.9	34.141
21	21.6	2075.2	-0.9	210.4	-0.09	34.32	4.8	33.831
22	22.7	2129.2	-0.9	215.9	-0.09	34.22	4.7	33.522
23	23.7	1977.9	-0.8	200.6	-0.08	29.73	4.6	33.292
24	24.7	2036.7	-0.8	206.5	-0.08	29.66	4.4	33.054
25	25.8	1872.3	-24.9	189.9	-2.53	24.75	4.3	32.815
26	26.8	1934.5	-98.3	196.2	-9.97	24.68	4.1	32.549
27	27.8	1726.8	-243.1	175.1	-24.65	19.38	4.0	32.303
28	28.8	1612.2	-111.5	163.5	-11.30	19.34	4.8	32.125
29	29.9	1081.7	-110.7	109.7	-11.22	13.56	5.8	32.010
30	30.9	625.0	-0.3	63.4	-0.03	6.87	6.3	31.877
Absolute	2.1			268.8			(T =	21.3 ms)
	27.8				-24.65		(T =	27.8 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2522.6	2244.7	1966.9	1689.0	1411.1	1133.3	855.4	577.5	299.7	21.8
RX	2522.6	2244.7	1966.9	1689.0	1411.1	1241.1	1143.2	1050.7	961.4	876.3
RU	2522.6	2244.7	1966.9	1689.0	1411.1	1133.3	855.4	577.5	299.7	21.8

RAU = 522.2 (kN); RA2 = 1471.6 (kN)

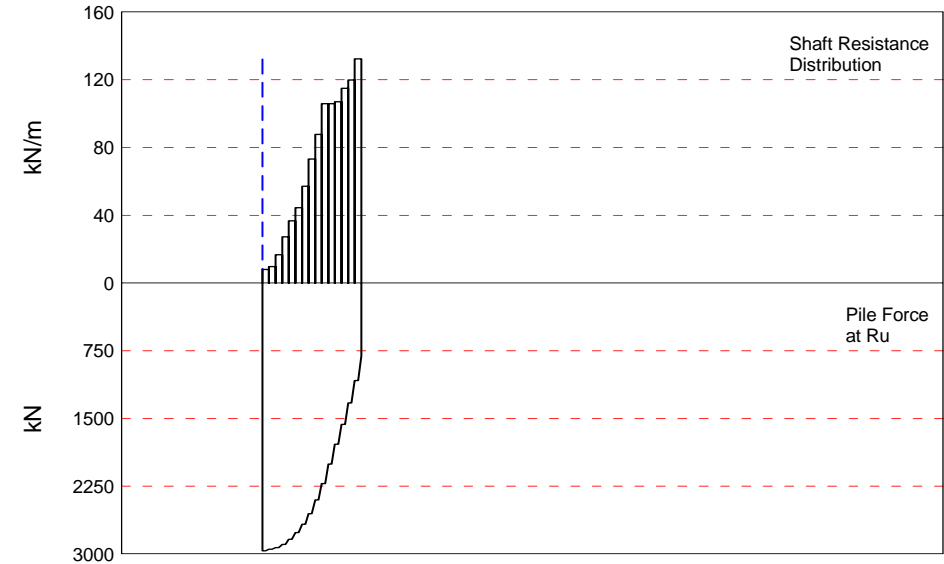
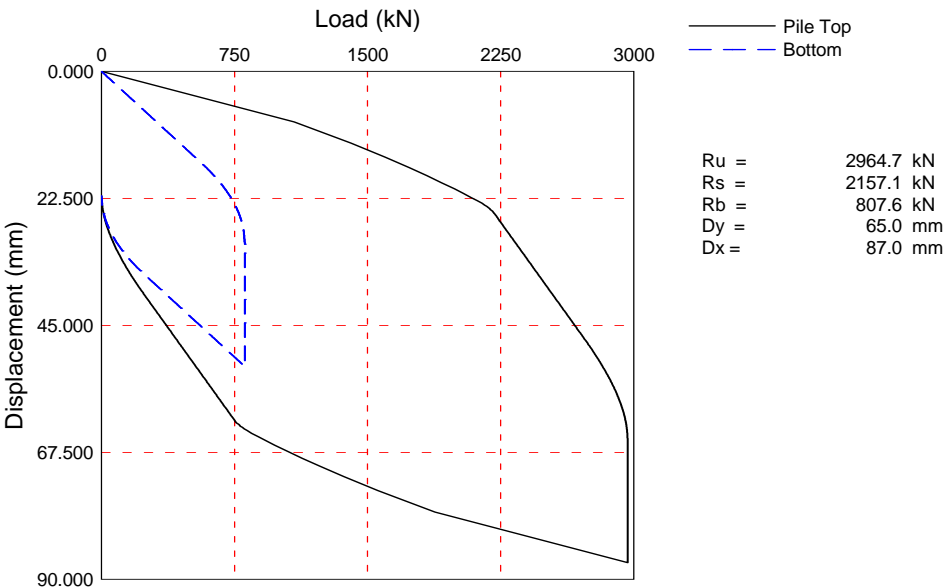
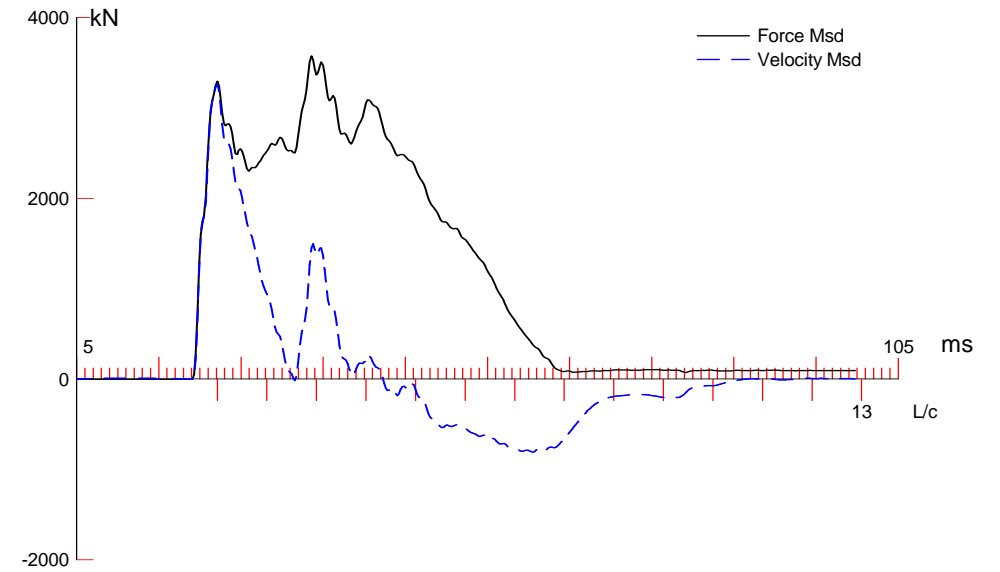
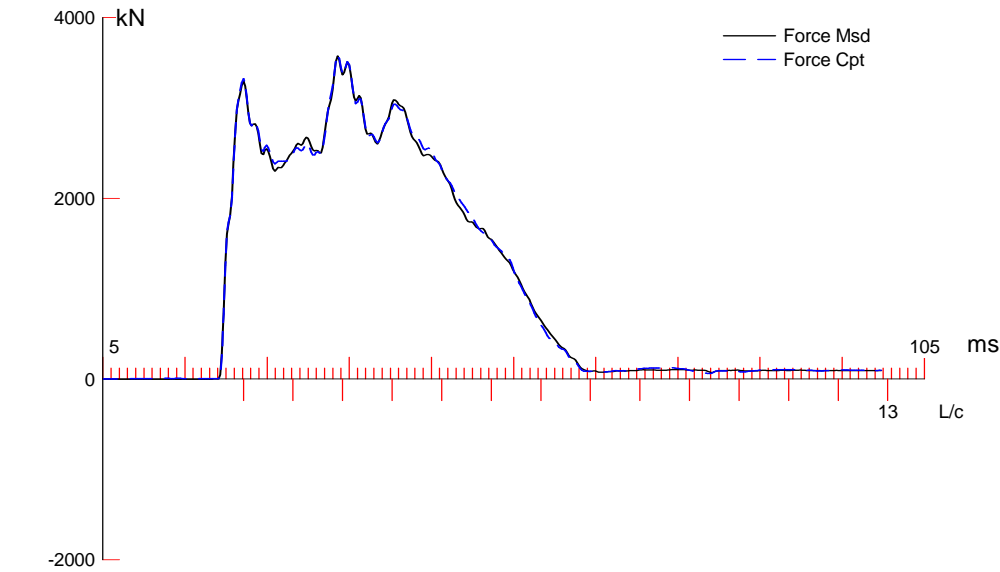
Current CAPWAP Ru = 1074.6 (kN); Corresponding J(RP)= 0.52; J(RX) = 0.67

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.75	20.91	2728.7	2572.6	2572.6	40.840	25.003	25.000	62.2	1890.3

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET1
Junttan HHK 5A; Blow: 35
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:51:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
30.90	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.03 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.201 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	12.1 ms



Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET1
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 25
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 15:15:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2964.7; along Shaft 2157.1; at Toe 807.6 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2964.7				
1	2.1	2.1	16.5	2948.2	16.5	8.01	7.87	0.186
2	4.1	4.1	20.1	2928.1	36.6	9.76	9.59	0.186
3	6.2	6.2	34.4	2893.7	71.0	16.70	16.41	0.186
4	8.2	8.2	56.5	2837.2	127.5	27.43	26.95	0.186
5	10.3	10.3	75.7	2761.5	203.2	36.75	36.11	0.186
6	12.4	12.4	91.7	2669.8	294.9	44.51	43.75	0.186
7	14.4	14.4	117.7	2552.1	412.6	57.14	56.15	0.186
8	16.5	16.5	150.7	2401.4	563.3	73.16	71.89	0.186
9	18.5	18.5	180.9	2220.5	744.2	87.82	86.30	0.186
10	20.6	20.6	218.1	2002.4	962.3	105.87	104.05	0.186
11	22.7	22.7	218.1	1784.3	1180.4	105.87	104.05	0.186
12	24.7	24.7	220.5	1563.8	1400.9	107.04	105.19	0.186
13	26.8	26.8	236.9	1326.9	1637.8	115.00	113.02	0.186
14	28.8	28.8	246.7	1080.2	1884.5	119.76	117.69	0.186
15	30.9	30.9	272.6	807.6	2157.1	132.33	130.05	0.186
Avg. Shaft			143.8			69.81	68.60	0.186
Toe			807.6				9801.32	0.161

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.003	23.285
Case Damping Factor			0.992	0.322
Unloading Quake	(% of loading quake)		73	110
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		2	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				2.699
Soil Plug Weight	(kN)			0.22
Soil Support Dashpot			5.500	5.007
Soil Support Weight	(kN)		10.48	10.48

CAPWAP match quality	=	1.42	(Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set	=	22.000 mm;	blow count = 45 b/m
Computed: final set	=	23.786 mm;	blow count = 42 b/m
max. Top Comp. Stress	=	362.0 MPa	(T= 35.2 ms, max= 1.021 x Top)
max. Comp. Stress	=	369.5 MPa	(Z= 8.2 m, T= 36.6 ms)
max. Tens. Stress	=	-9.76 MPa	(Z= 12.4 m, T= 66.8 ms)
max. Energy (EMX)	=	168.67 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=61.59 mm

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET1
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 25
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 15:15:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3570.0	-0.8	362.0	-0.08	168.67	7.9	60.118
2	2.1	3588.9	-0.8	363.9	-0.08	166.59	7.9	58.674
4	4.1	3618.4	-8.3	366.9	-0.84	160.74	7.7	55.821
6	6.2	3632.6	-41.5	368.4	-4.21	154.96	7.5	53.075
8	8.2	3644.0	-66.9	369.5	-6.78	148.63	7.3	50.582
10	10.3	3602.2	-85.5	365.3	-8.67	140.97	7.0	48.219
12	12.4	3538.6	-96.3	358.8	-9.76	132.20	6.6	45.880
14	14.4	3447.0	-94.3	349.5	-9.57	122.76	6.2	43.547
16	16.5	3330.3	-64.9	337.7	-6.58	112.28	5.7	41.282
18	18.5	3193.3	-34.2	323.8	-3.47	100.82	5.3	39.177
19	19.6	2950.4	-0.5	299.2	-0.05	89.81	5.0	38.218
20	20.6	3030.0	-0.5	307.3	-0.05	88.87	4.8	37.245
21	21.6	2735.4	-0.4	277.4	-0.04	76.93	4.6	36.356
22	22.7	2820.2	-0.4	286.0	-0.05	76.11	4.4	35.452
23	23.7	2518.5	-0.4	255.4	-0.04	65.10	4.2	34.680
24	24.7	2544.7	-0.4	258.0	-0.04	64.52	4.1	33.920
25	25.8	2164.1	-0.4	219.5	-0.04	54.10	4.2	33.246
26	26.8	2269.1	-0.4	230.1	-0.04	53.71	3.9	32.641
27	27.8	1858.2	-0.5	188.4	-0.05	43.21	4.1	32.150
28	28.8	1789.5	-0.5	181.5	-0.06	42.98	4.4	31.677
29	29.9	1409.9	-0.6	143.0	-0.06	32.46	4.5	31.267
30	30.9	1362.1	-0.2	138.1	-0.02	21.17	4.5	30.859
Absolute	8.2			369.5			(T =	36.6 ms)
	12.4				-9.76		(T =	66.8 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3115.9	3048.9	2981.9	2914.9	2847.9	2780.9	2713.9	2646.9	2579.9	2512.9
RX	4293.1	4062.6	3832.2	3601.7	3371.3	3168.6	3009.5	2925.1	2910.3	2898.2
RU	3097.7	3028.8	2960.0	2891.2	2822.4	2753.6	2684.8	2615.9	2547.1	2478.3

RAU = 2750.1 (kN); RA2 = 3243.5 (kN)

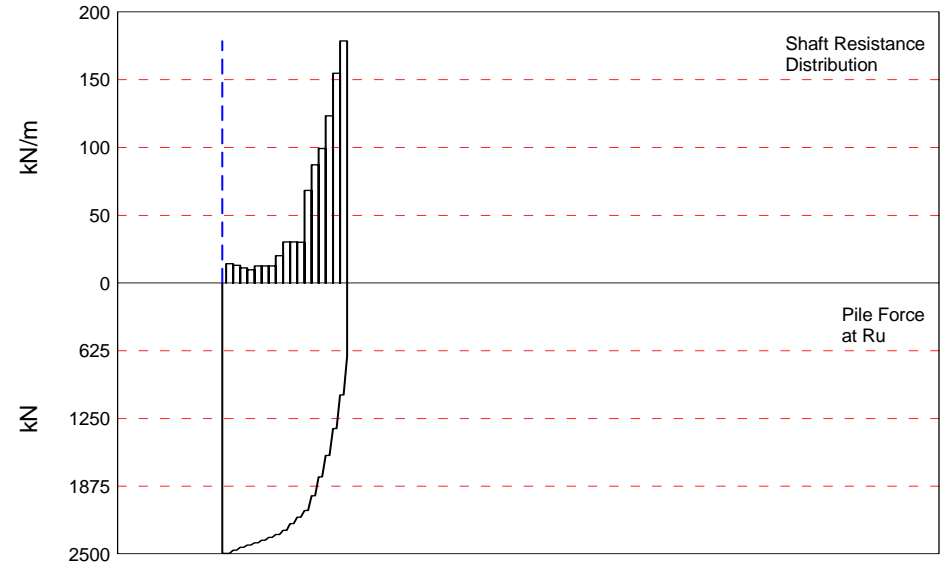
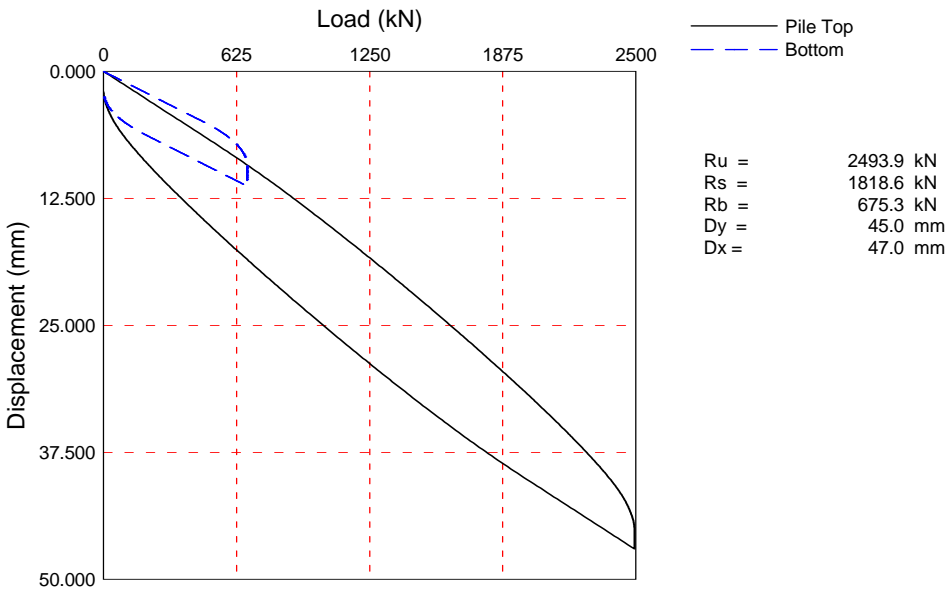
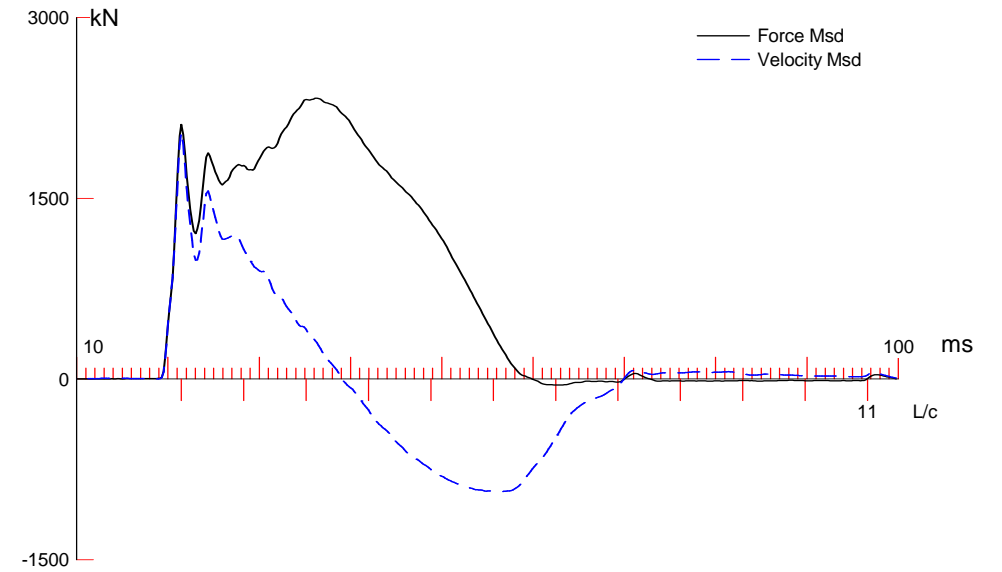
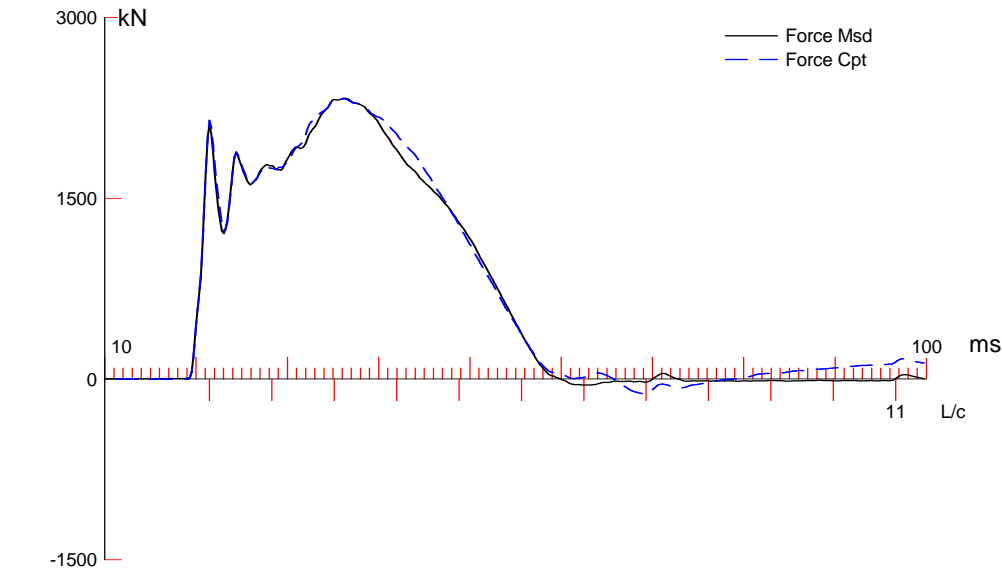
Current CAPWAP Ru = 2964.7 (kN); Corresponding J(RP)= 0.23; J(RX) = 0.65

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
8.12	22.32	1862.9	1922.9	3601.5	61.587	21.995	22.000	169.9	4065.4

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET1
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 25
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 15:15:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL					
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.	
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m	
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018	
30.90	98.61	210000.0	78.500	1.018	
Toe Area		0.082	m ²		
Top Segment Length		1.03 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s		
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.201 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	12.1 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 12:15:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS									
Total CAPWAP Capacity:			2493.9; along Shaft		1818.6; at Toe		675.3 kN		
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				2493.9					
1	3.0	3.0	28.7	2465.2	28.7	9.57	9.40	0.546	7.500
2	5.0	5.0	26.2	2439.0	54.9	13.10	12.87	0.546	7.500
3	7.0	7.0	22.3	2416.7	77.2	11.15	10.96	0.546	7.500
4	9.0	9.0	19.8	2396.9	97.0	9.90	9.73	0.546	7.500
5	11.0	11.0	25.2	2371.7	122.2	12.60	12.38	0.546	7.500
6	13.0	13.0	25.3	2346.4	147.5	12.65	12.43	0.546	7.500
7	15.0	15.0	25.4	2321.0	172.9	12.70	12.48	0.546	7.500
8	17.0	17.0	40.6	2280.4	213.5	20.30	19.95	0.546	7.500
9	19.0	19.0	60.8	2219.6	274.3	30.40	29.88	0.546	7.500
10	21.0	21.0	60.6	2159.0	334.9	30.30	29.78	0.546	7.500
11	23.0	23.0	60.3	2098.7	395.2	30.15	29.63	0.546	7.500
12	25.0	25.0	136.6	1962.1	531.8	68.30	67.12	0.546	7.500
13	27.0	27.0	174.4	1787.7	706.2	87.20	85.70	0.546	7.500
14	29.0	29.0	198.7	1589.0	904.9	99.35	97.64	0.546	7.500
15	31.0	31.0	246.8	1342.2	1151.7	123.40	121.27	0.546	7.500
16	33.0	33.0	309.4	1032.8	1461.1	154.70	152.03	0.546	6.507
17	35.0	35.0	357.5	675.3	1818.6	178.75	175.67	0.546	5.378
Avg. Shaft			107.0			51.96	51.06	0.546	6.914
Toe			675.3				8195.68	0.461	7.148
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						2.456	0.770		
Unloading Quake			(% of loading quake)			61	89		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			3			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							0.122		
CAPWAP match quality			=	1.69	(Force Match)		; RSA = 0		
Observed: final set			=	2.000 mm;	blow count		=	500 b/m	
Computed: final set			=	0.166 mm;	blow count		=	6013 b/m	
max. Top Comp. Stress			=	235.9 MPa	(T= 36.3 ms, max= 1.024 x Top)				
max. Comp. Stress			=	241.6 MPa	(Z= 3.0 m, T= 35.9 ms)				
max. Tens. Stress			=	-27.96 MPa	(Z= 23.0 m, T= 66.0 ms)				
max. Energy (EMX)			=	71.13 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=40.93 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZET2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 12:15:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2326.1	-122.0	235.9	-12.37	71.13	5.0	39.859
2	2.0	2362.7	-140.4	239.6	-14.24	70.08	4.9	38.770
4	4.0	2361.4	-152.8	239.5	-15.50	65.08	4.8	36.588
6	6.0	2363.9	-161.6	239.7	-16.39	60.47	4.7	34.404
8	8.0	2363.5	-167.9	239.7	-17.03	56.33	4.6	32.222
10	10.0	2362.1	-170.1	239.5	-17.25	52.49	4.5	30.037
12	12.0	2350.8	-179.2	238.4	-18.18	48.47	4.4	27.854
14	14.0	2338.9	-205.3	237.2	-20.82	44.61	4.4	25.677
16	16.0	2324.7	-231.7	235.7	-23.50	40.94	4.2	23.515
18	18.0	2291.1	-251.0	232.3	-25.45	36.85	4.1	21.379
20	20.0	2234.9	-258.8	226.6	-26.24	32.39	3.9	19.287
22	22.0	2177.7	-264.9	220.8	-26.86	28.39	3.7	17.254
24	24.0	2117.4	-266.4	214.7	-27.02	24.83	3.4	15.283
26	26.0	1977.8	-239.1	200.6	-24.25	20.28	3.0	13.411
28	28.0	1803.0	-201.9	182.8	-20.47	16.01	2.6	11.688
29	29.0	1807.2	-207.2	183.3	-21.01	15.31	2.4	10.868
30	30.0	1607.3	-161.3	163.0	-16.35	12.37	2.2	10.136
31	31.0	1611.7	-166.8	163.4	-16.91	11.81	2.1	9.406
32	32.0	1373.3	-113.9	139.3	-11.55	9.20	1.9	8.779
33	33.0	1378.3	-119.6	139.8	-12.13	8.79	1.8	8.153
34	34.0	1095.8	-60.1	111.1	-6.10	6.37	1.6	7.648
35	35.0	1099.9	-66.2	111.5	-6.71	3.77	1.5	7.144
Absolute	3.0			241.6			(T =	35.9 ms)
	23.0				-27.96		(T =	66.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3048.8	2934.1	2819.5	2704.8	2590.2	2475.5	2360.9	2246.2	2131.6	2016.9
RX	3050.5	2937.1	2823.7	2710.3	2597.0	2485.1	2420.9	2356.7	2293.6	2246.1
RU	3048.8	2934.1	2819.5	2704.8	2590.2	2475.5	2360.9	2246.2	2131.6	2016.9

RAU = 225.9 (kN); RA2 = 2166.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2493.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.48; J(RX) = 0.49

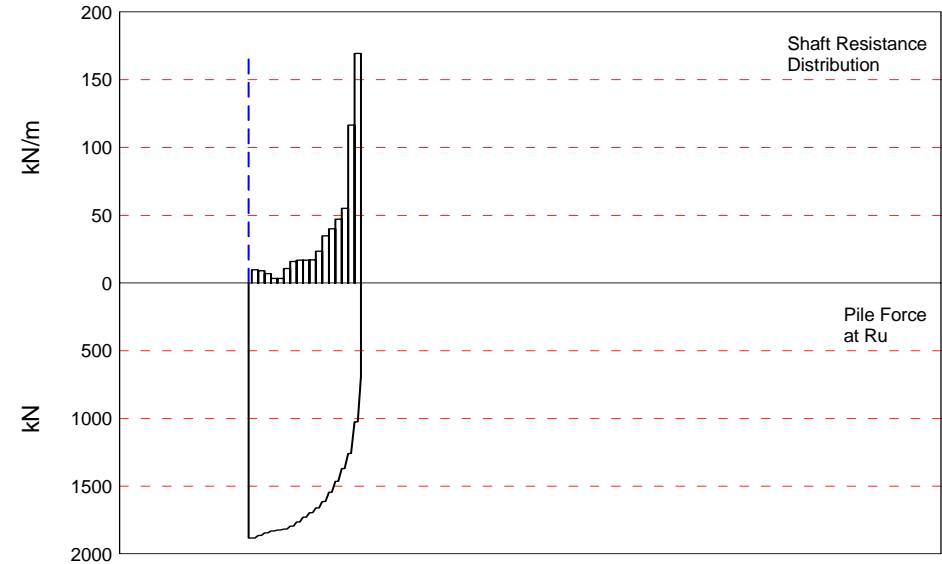
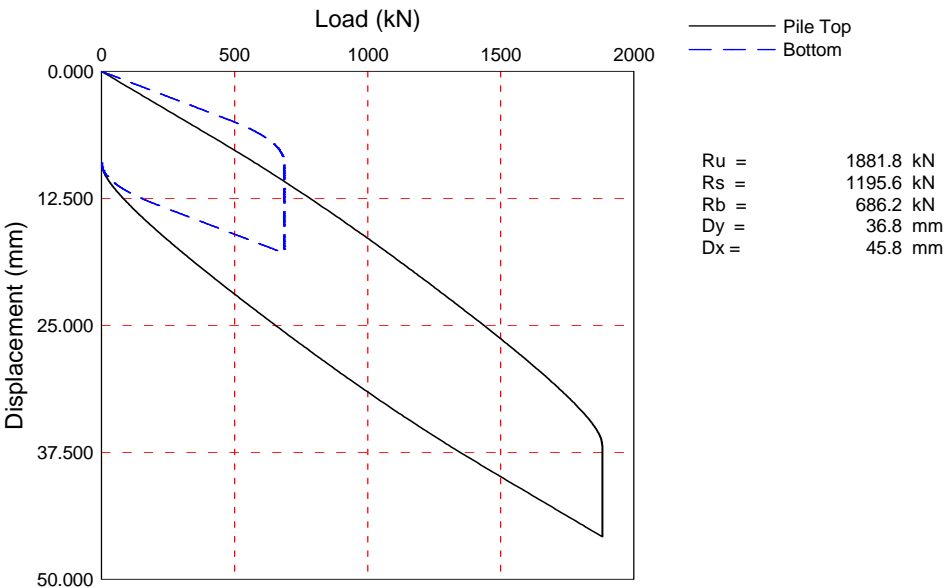
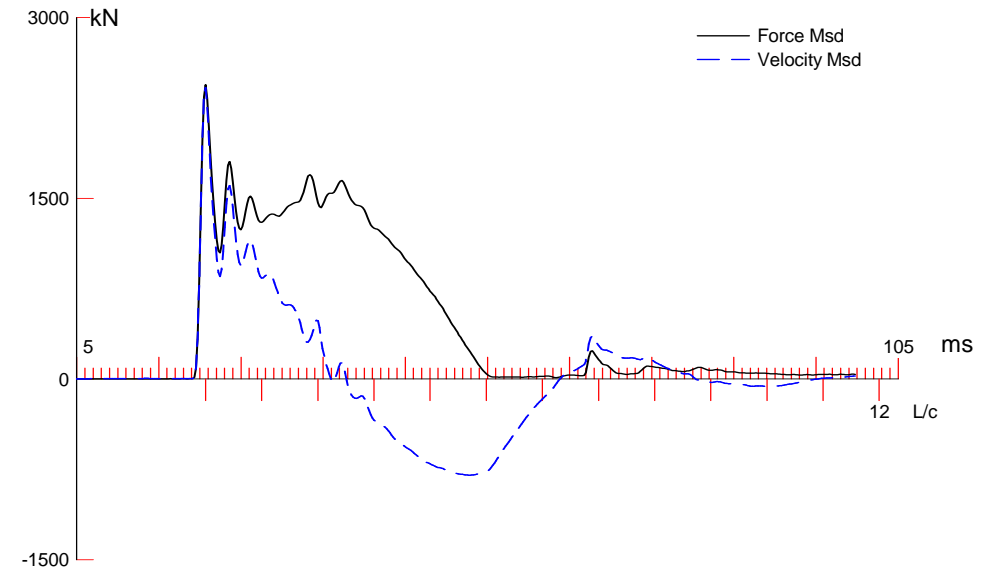
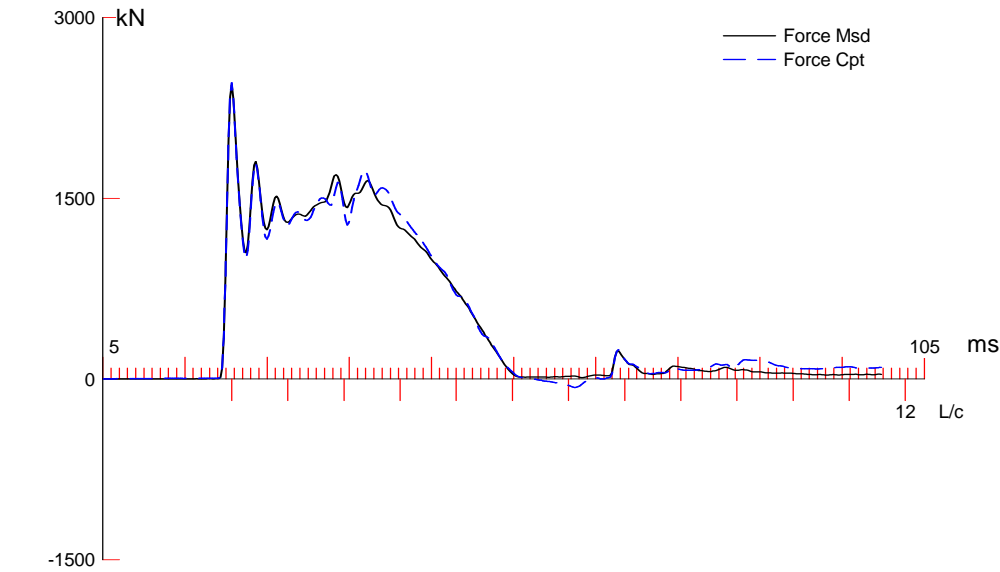
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.09	21.67	2058.8	2136.5	2334.8	40.932	2.146	2.000	71.9	3351.7

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
35.00	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET2 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 12:15:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.04
3	3.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.05
35	35.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.05
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.195 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		13.7 ms	



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET2
Junttan HHK 5A; Blow: 14
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:36:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1881.8; along Shaft 1195.6; at Toe 686.2 kN									
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				1881.8					
1	3.0	3.0	19.7	1862.1	19.7	6.57	6.45	0.515	7.500
2	5.0	5.0	18.1	1844.0	37.8	9.05	8.89	0.515	7.499
3	7.0	7.0	14.1	1829.9	51.9	7.05	6.93	0.515	7.499
4	9.0	9.0	6.9	1823.0	58.8	3.45	3.39	0.515	7.499
5	11.0	11.0	6.9	1816.1	65.7	3.45	3.39	0.515	7.499
6	13.0	13.0	21.8	1794.3	87.5	10.90	10.71	0.515	7.499
7	15.0	15.0	31.9	1762.4	119.4	15.95	15.67	0.515	7.499
8	17.0	17.0	33.8	1728.6	153.2	16.90	16.61	0.515	7.499
9	19.0	19.0	34.0	1694.6	187.2	17.00	16.71	0.515	7.499
10	21.0	21.0	34.5	1660.1	221.7	17.25	16.95	0.515	7.499
11	23.0	23.0	47.2	1612.9	268.9	23.60	23.19	0.515	7.499
12	25.0	25.0	69.6	1543.3	338.5	34.80	34.20	0.515	7.499
13	27.0	27.0	80.2	1463.1	418.7	40.10	39.41	0.515	7.499
14	29.0	29.0	94.1	1369.0	512.8	47.05	46.24	0.515	7.499
15	31.0	31.0	110.6	1258.4	623.4	55.30	54.35	0.515	7.499
16	33.0	33.0	233.3	1025.1	856.7	116.65	114.64	0.515	7.499
17	35.0	35.0	338.9	686.2	1195.6	169.45	166.53	0.515	6.042
Avg. Shaft			70.3			34.16	33.57	0.515	7.086
Toe			686.2				8327.64	0.035	6.841
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						1.523	0.060		
Unloading Quake			(% of loading quake)			132	66		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			78			
Soil Support Dashpot						2.300	4.359		
Soil Support Weight			(kN)			10.18	10.18		
CAPWAP match quality			=	1.58	(Force Match)	; RSA = 0			
Observed: final set			=	9.000 mm;	blow count	=	111 b/m		
Computed: final set			=	4.751 mm;	blow count	=	210 b/m		
max. Top Comp. Stress			=	249.4 MPa	(T= 20.9 ms, max= 1.021 x Top)				
max. Comp. Stress			=	254.6 MPa	(Z= 3.0 m, T= 21.5 ms)				
max. Tens. Stress			=	-19.31 MPa	(Z= 15.0 m, T= 59.5 ms)				
max. Energy (EMX)			=	53.93 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=36.01 mm				

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET2
Junttan HHK 5A; Blow: 14
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:36:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2459.5	-69.8	249.4	-7.08	53.93	5.9	35.248
2	2.0	2495.3	-90.7	253.0	-9.19	53.67	5.9	34.445
4	4.0	2458.2	-92.8	249.3	-9.41	50.68	5.8	32.775
6	6.0	2420.6	-100.7	245.5	-10.21	47.94	5.8	31.132
8	8.0	2385.9	-116.6	241.9	-11.83	45.82	5.7	29.651
10	10.0	2370.7	-140.7	240.4	-14.26	44.10	5.7	28.088
12	12.0	2370.1	-164.4	240.3	-16.67	42.26	5.6	26.446
14	14.0	2338.7	-171.7	237.2	-17.41	39.73	5.5	24.864
16	16.0	2283.0	-172.1	231.5	-17.45	36.84	5.3	23.306
18	18.0	2223.3	-167.0	225.4	-16.94	33.99	5.2	21.744
20	20.0	2164.4	-161.9	219.5	-16.42	31.37	5.1	20.240
22	22.0	2129.2	-157.7	215.9	-15.99	28.92	4.9	18.777
24	24.0	2087.9	-148.3	211.7	-15.04	26.32	4.7	17.385
26	26.0	2005.1	-141.6	203.3	-14.36	23.43	4.4	16.127
28	28.0	1914.8	-135.6	194.2	-13.75	20.54	4.2	14.916
29	29.0	1970.1	-141.8	199.8	-14.37	20.17	4.1	14.322
30	30.0	1816.5	-130.0	184.2	-13.18	17.73	3.9	13.787
31	31.0	1898.2	-135.3	192.5	-13.72	17.47	3.7	13.293
32	32.0	1755.3	-128.2	178.0	-13.00	15.17	3.5	12.850
33	33.0	1698.4	-133.7	172.2	-13.56	14.97	3.7	12.408
34	34.0	1108.5	-103.5	112.4	-10.49	11.09	4.1	12.075
35	35.0	1094.5	-109.4	111.0	-11.09	5.83	4.1	11.748
Absolute	3.0			254.6			(T =	21.5 ms)
	15.0				-19.31		(T =	59.5 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2935.0	2738.5	2541.9	2345.3	2148.7	1952.1	1755.5	1558.9	1362.3	1165.7
RX	2935.0	2738.5	2541.9	2345.3	2148.7	1991.6	1897.2	1802.7	1714.1	1658.5
RU	2935.0	2738.5	2541.9	2345.3	2148.7	1952.1	1755.5	1558.9	1362.3	1165.7

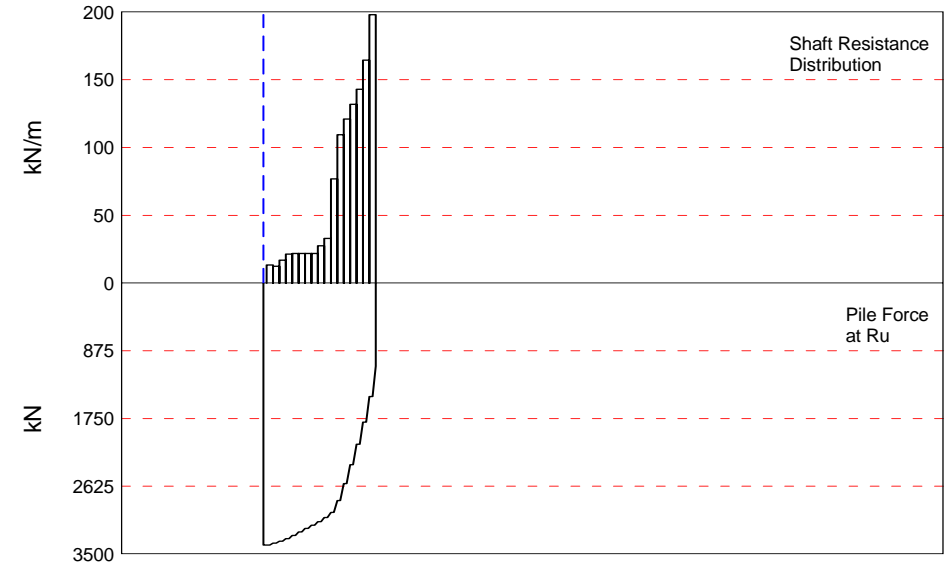
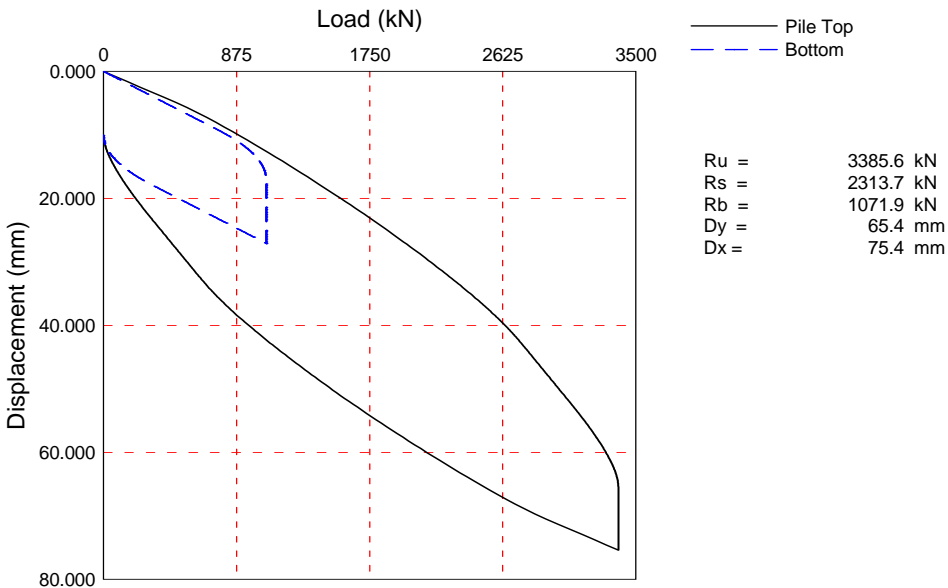
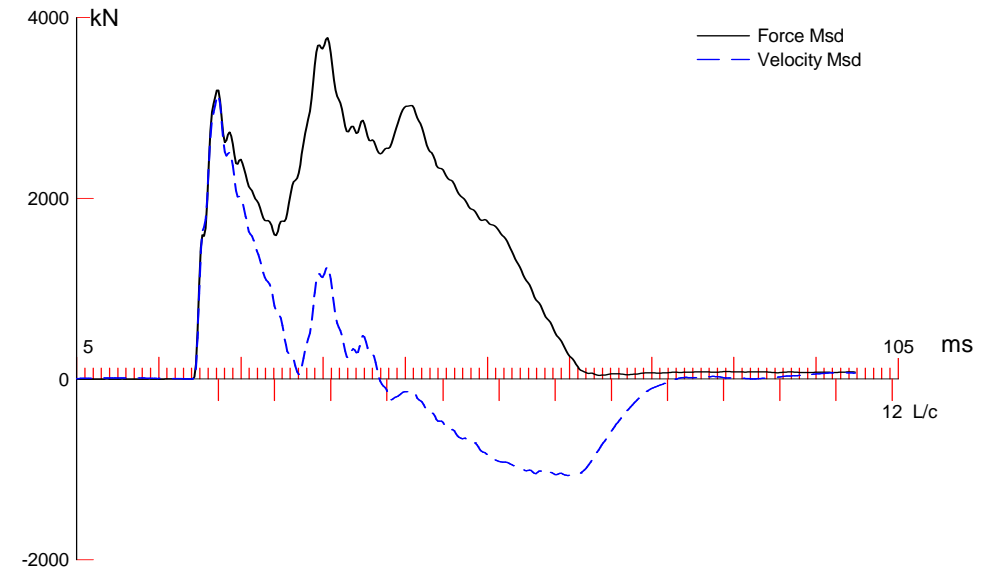
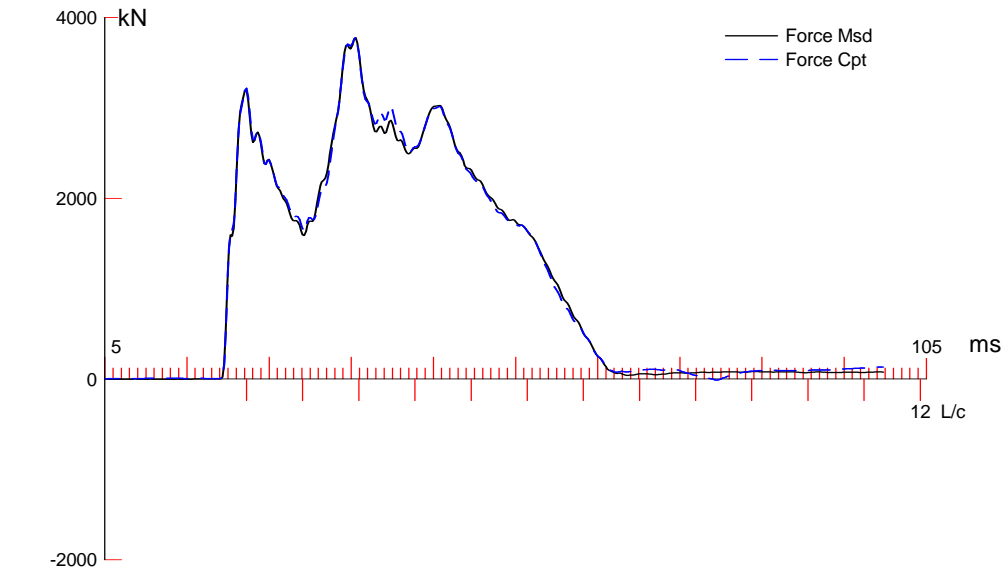
RAU = 433.1 (kN); RA2 = 1727.7 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1881.8 (kN); Corresponding J(RP)= 0.54; J(RX) = 0.62

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.04	20.89	2442.2	2458.7	2458.7	36.010	9.001	9.000	55.9	2485.9

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
35.00	98.61	210000.0	78.500	1.018

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET2					Test: 04-Mar-2015 16:36:				
Junttan HHK 5A; Blow: 14					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
3	3.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
35	35.00	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.195 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		
							13.7 ms		



Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET2
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 27
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 16:31:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 3385.6; along Shaft 2313.7; at Toe 1071.9 kN								
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m
				3385.6				
1	3.0	3.0	26.7	3358.9	26.7	8.90	8.75	0.222
2	5.0	5.0	24.6	3334.3	51.3	12.30	12.09	0.222
3	7.0	7.0	33.8	3300.5	85.1	16.90	16.61	0.222
4	9.0	9.0	42.6	3257.9	127.7	21.30	20.93	0.222
5	11.0	11.0	43.9	3214.0	171.6	21.95	21.57	0.222
6	13.0	13.0	43.9	3170.1	215.5	21.95	21.57	0.222
7	15.0	15.0	43.9	3126.2	259.4	21.95	21.57	0.222
8	17.0	17.0	43.9	3082.3	303.3	21.95	21.57	0.222
9	19.0	19.0	54.9	3027.4	358.2	27.45	26.98	0.222
10	21.0	21.0	66.0	2961.4	424.2	33.00	32.43	0.222
11	23.0	23.0	153.9	2807.5	578.1	76.95	75.62	0.222
12	25.0	25.0	219.0	2588.5	797.1	109.50	107.61	0.222
13	27.0	27.0	241.9	2346.6	1039.0	120.95	118.86	0.222
14	29.0	29.0	263.9	2082.7	1302.9	131.95	129.67	0.222
15	31.0	31.0	286.1	1796.6	1589.0	143.05	140.58	0.222
16	33.0	33.0	328.9	1467.7	1917.9	164.45	161.61	0.222
17	35.0	35.0	395.8	1071.9	2313.7	197.90	194.48	0.222
Avg. Shaft			136.1			66.11	64.96	0.222
Toe			1071.9				13008.95	0.205
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			4.146	13.138		
Case Damping Factor					1.270	0.543		
Unloading Quake		(% of loading quake)			30	82		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			0			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)						7.774		
Soil Plug Weight		(kN)				0.27		
CAPWAP match quality		=	1.87		(Wave Up Match) ; RSA = 0			
Observed: final set		=	10.000 mm;		blow count	=	100 b/m	
Computed: final set		=	8.720 mm;		blow count	=	115 b/m	
max. Top Comp. Stress		=	381.4 MPa		(T= 35.9 ms, max= 1.010 x Top)			
max. Comp. Stress		=	385.1 MPa		(Z= 7.0 m, T= 37.1 ms)			
max. Tens. Stress		=	-32.26 MPa		(Z= 27.0 m, T= 74.2 ms)			
max. Energy (EMX)		=	152.20 kJ;		max. Measured Top Displ. (DMX)=61.23 mm			

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET2
 Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 27
 Inspecta

Test: 31-Mar-2015 16:31:
 CAPWAP(R) 2006-2
 OP: TRe

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3761.2	-11.4	381.4	-1.15	152.20	7.7	58.512
2	2.0	3733.9	-14.2	378.6	-1.44	150.54	7.6	57.249
4	4.0	3723.8	-27.0	377.6	-2.74	144.16	7.5	54.637
6	6.0	3759.8	-44.8	381.3	-4.54	137.83	7.4	51.907
8	8.0	3759.2	-72.5	381.2	-7.35	130.62	7.2	49.129
10	10.0	3676.3	-103.9	372.8	-10.54	122.66	7.1	46.290
12	12.0	3571.0	-136.2	362.1	-13.81	114.57	7.0	43.368
14	14.0	3467.8	-165.1	351.7	-16.75	106.88	6.8	40.487
16	16.0	3410.8	-186.8	345.9	-18.95	99.94	6.7	37.772
18	18.0	3410.6	-220.9	345.8	-22.40	93.15	6.4	35.010
20	20.0	3445.7	-251.7	349.4	-25.52	85.87	6.0	32.200
22	22.0	3472.1	-278.1	352.1	-28.20	78.33	5.5	29.351
24	24.0	3339.2	-292.4	338.6	-29.65	67.72	5.0	26.595
26	26.0	3138.1	-299.9	318.2	-30.41	56.53	4.5	24.119
28	28.0	2859.2	-302.2	289.9	-30.64	46.29	3.9	21.885
29	29.0	2889.6	-312.9	293.0	-31.73	45.07	3.7	20.801
30	30.0	2585.7	-287.5	262.2	-29.16	36.90	3.6	19.826
31	31.0	2594.1	-300.1	263.1	-30.43	35.92	3.5	18.848
32	32.0	2235.4	-262.3	226.7	-26.60	28.37	3.2	17.994
33	33.0	2269.0	-260.6	230.1	-26.43	27.62	3.2	17.137
34	34.0	1892.7	-208.2	191.9	-21.12	20.26	3.1	16.425
35	35.0	1883.0	-206.0	190.9	-20.89	12.18	3.1	15.713
Absolute	7.0			385.1			(T =	37.1 ms)
	27.0				-32.26		(T =	74.2 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3083.2	3028.3	2973.3	2918.3	2863.3	2808.4	2753.4	2698.4	2643.4	2588.4
RX	4445.3	4251.2	4057.0	3862.9	3668.8	3475.5	3289.0	3190.0	3095.1	3093.3
RU	3083.2	3028.3	2973.3	2918.3	2863.3	2808.4	2753.4	2698.4	2643.4	2588.4

RAU = 2626.9 (kN); RA2 = 2874.8 (kN)

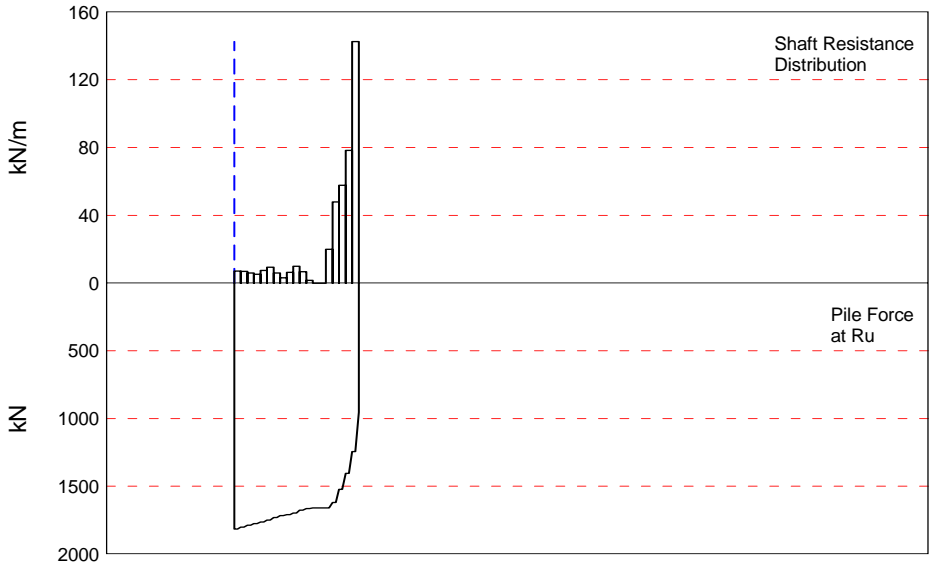
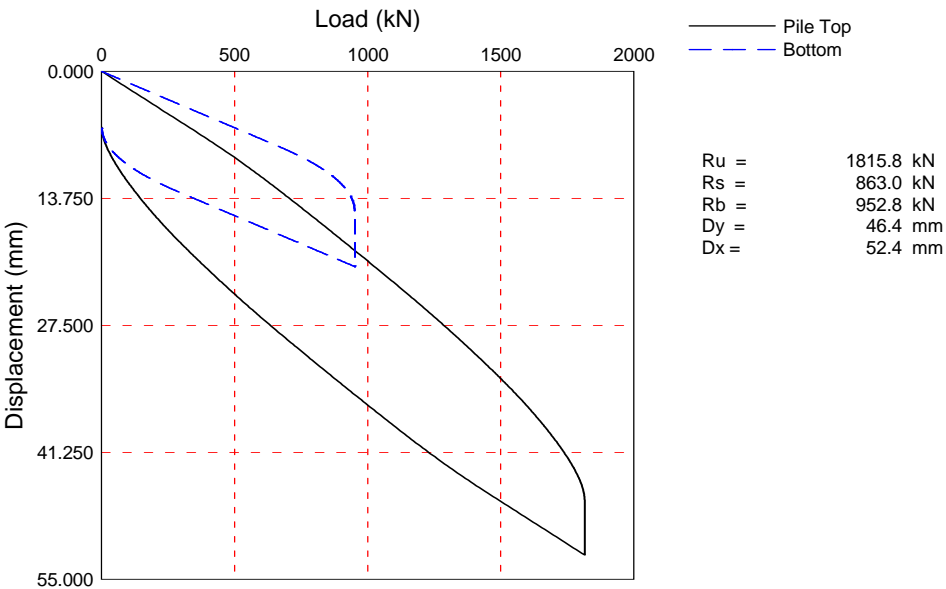
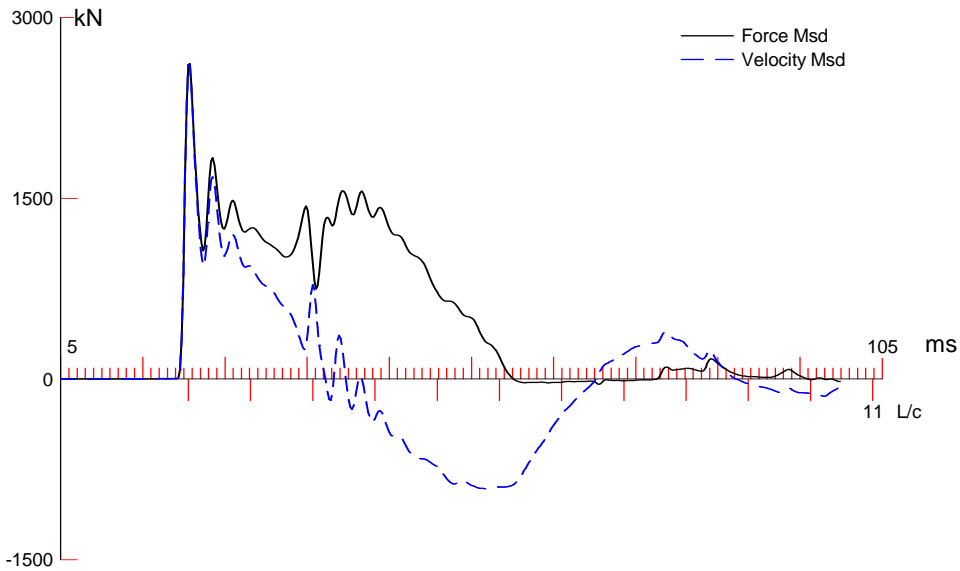
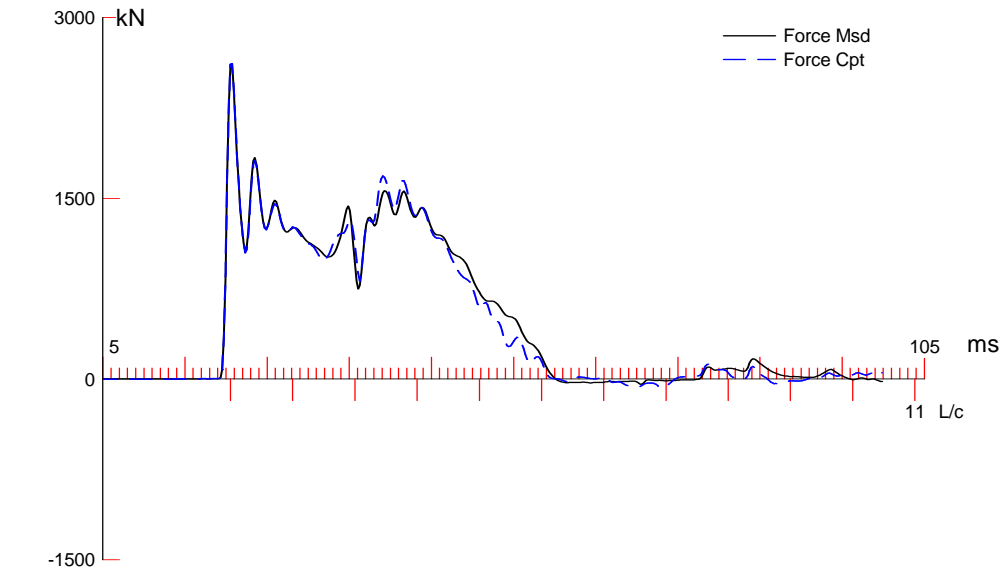
Current CAPWAP Ru = 3385.6 (kN); Corresponding J(RP)= 0.00; J(RX) = 0.55

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.83	22.45	1849.1	1784.0	3787.8	61.231	10.002	10.000	156.4	4390.6

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET2
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 27
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 16:31:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
35.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.00 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping		1.0 %, Time Incr 0.195 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c 13.7 ms	



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET3 0h
 Junttan HHK 5A; Blow: 1886
 Inspecta

Test: 03-Mar-2015 10:34:
 CAPWAP(R) 2006-2
 OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1815.8; along Shaft 863.0; at Toe 952.8 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1815.8				
1	2.0	1.2	14.6	1801.2	14.6	11.75	11.55	0.490
2	4.1	3.3	14.3	1786.9	28.9	7.00	6.88	0.490
3	6.1	5.3	12.2	1774.7	41.1	5.97	5.87	0.490
4	8.2	7.4	10.6	1764.1	51.7	5.19	5.10	0.490
5	10.2	9.4	15.5	1748.6	67.2	7.59	7.46	0.490
6	12.3	11.5	19.2	1729.4	86.4	9.40	9.24	0.490
7	14.3	13.5	12.3	1717.1	98.7	6.02	5.92	0.490
8	16.3	15.5	6.6	1710.5	105.3	3.23	3.18	0.490
9	18.4	17.6	12.9	1697.6	118.2	6.32	6.21	0.490
10	20.4	19.6	20.3	1677.3	138.5	9.94	9.77	0.490
11	22.5	21.7	13.8	1663.5	152.3	6.76	6.64	0.490
12	24.5	23.7	3.3	1660.2	155.6	1.62	1.59	0.490
13	26.5	25.7	0.0	1660.2	155.6	0.00	0.00	0.000
14	28.6	27.8	0.0	1660.2	155.6	0.00	0.00	0.000
15	30.6	29.8	40.8	1619.4	196.4	19.98	19.63	0.490
16	32.7	31.9	97.8	1521.6	294.2	47.89	47.07	0.490
17	34.7	33.9	117.9	1403.7	412.1	57.73	56.74	0.490
18	36.8	36.0	159.7	1244.0	571.8	78.20	76.85	0.490
19	38.8	38.0	291.2	952.8	863.0	142.60	140.14	0.490
Avg. Shaft			45.4			22.71	22.32	0.490
Toe			952.8				11563.51	0.058

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.476	11.640
Case Damping Factor			1.046	0.137
Unloading Quake	(% of loading quake)		99	166
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		51	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			4.664
Soil Plug Weight	(kN)			0.09
Soil Support Dashpot			0.000	10.000
Soil Support Weight	(kN)		0.00	10.39

CAPWAP match quality	=	1.99	(Force Match)	; RSA = 0
Observed: final set	=	6.000 mm;	blow count	= 167 b/m
Computed: final set	=	6.035 mm;	blow count	= 166 b/m
max. Top Comp. Stress	=	265.4 MPa	(T= 20.9 ms, max= 1.010 x Top)	
max. Comp. Stress	=	268.0 MPa	(Z= 2.0 m, T= 21.3 ms)	
max. Tens. Stress	=	-42.12 MPa	(Z= 30.6 m, T= 67.2 ms)	
max. Energy (EMX)	=	59.58 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=41.27 mm	

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET3 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 1886
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 10:34:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2617.6	-74.0	265.4	-7.50	59.58	6.4	40.462
2	2.0	2643.0	-106.9	268.0	-10.84	59.39	6.4	39.634
4	4.1	2614.9	-123.9	265.2	-12.56	56.70	6.3	38.149
6	6.1	2584.8	-136.7	262.1	-13.86	54.47	6.3	36.782
8	8.2	2562.6	-162.9	259.9	-16.52	52.54	6.2	35.480
10	10.2	2553.5	-179.2	258.9	-18.17	50.52	6.1	33.980
12	12.3	2529.1	-185.4	256.5	-18.80	48.00	6.1	32.389
14	14.3	2481.7	-202.7	251.7	-20.56	45.34	6.0	30.845
16	16.3	2453.6	-221.2	248.8	-22.43	43.28	6.0	29.357
18	18.4	2455.2	-259.0	249.0	-26.27	41.69	5.9	27.865
20	20.4	2442.0	-280.0	247.6	-28.40	39.79	5.9	26.430
22	22.5	2392.9	-305.5	242.7	-30.98	37.44	5.8	24.952
24	24.5	2351.8	-332.3	238.5	-33.70	35.49	5.8	23.444
26	26.5	2340.2	-354.9	237.3	-35.98	34.20	5.8	21.966
28	28.6	2354.8	-384.2	238.8	-38.96	33.00	5.7	20.434
30	30.6	2434.8	-415.4	246.9	-42.12	31.72	5.5	18.847
32	32.7	2451.6	-404.3	248.6	-41.00	28.83	5.2	17.306
34	34.7	2334.8	-338.8	236.8	-34.35	24.26	4.8	15.863
35	35.7	2115.1	-249.5	214.5	-25.30	20.23	4.6	15.190
36	36.8	2056.1	-250.3	208.5	-25.38	19.76	4.7	14.515
37	37.8	1455.6	-158.9	147.6	-16.11	14.92	5.4	13.911
38	38.8	1336.3	-166.0	135.5	-16.84	6.77	5.7	13.308
Absolute	2.0			268.0			(T =	21.3 ms)
	30.6				-42.12		(T =	67.2 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2718.3	2454.4	2190.4	1926.5	1662.5	1398.5	1134.6	870.6	606.6	342.7
RX	2718.3	2454.4	2190.4	1956.7	1868.0	1820.1	1796.3	1772.6	1749.4	1726.6
RU	2718.3	2454.4	2190.4	1926.5	1662.5	1398.5	1134.6	870.6	606.6	342.7

RAU = 1655.4 (kN); RA2 = 1934.9 (kN)

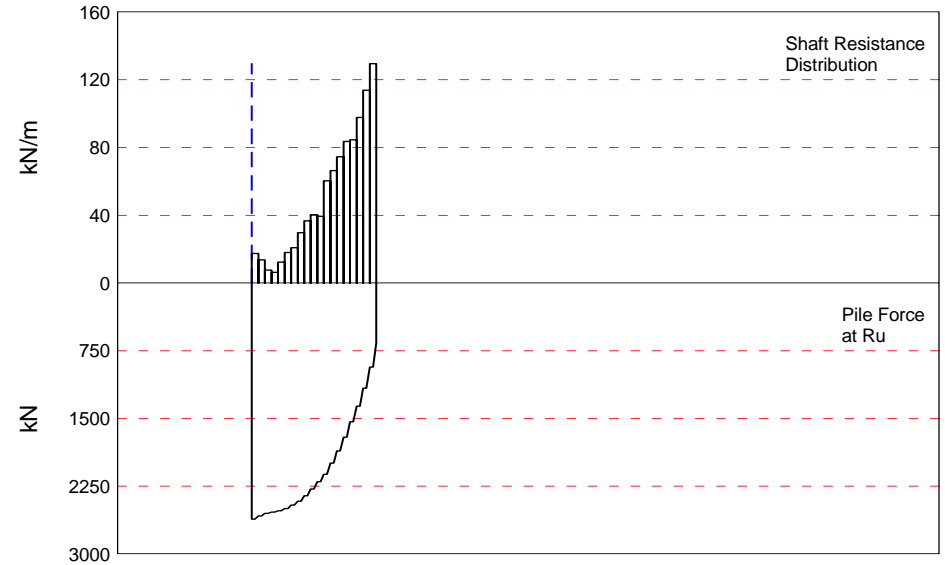
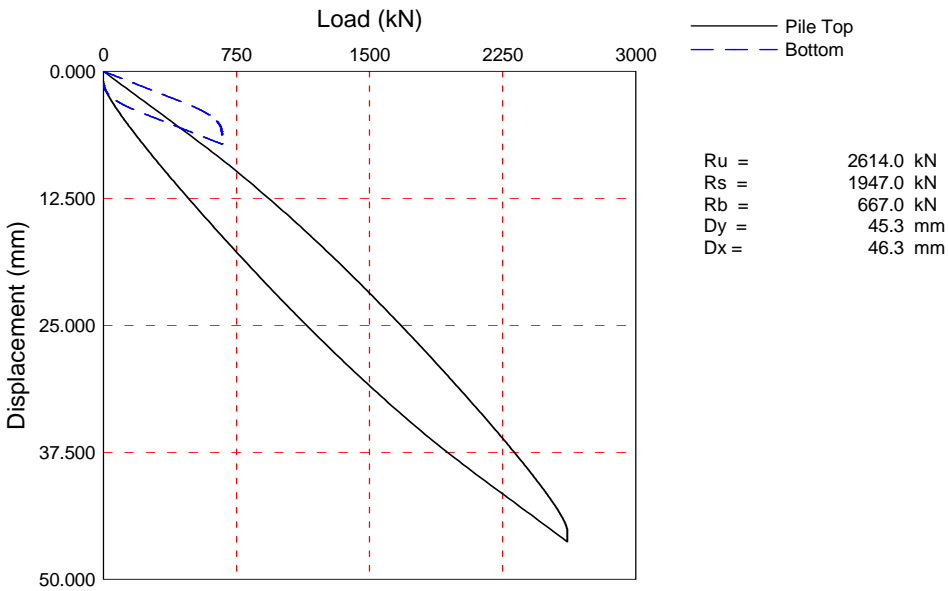
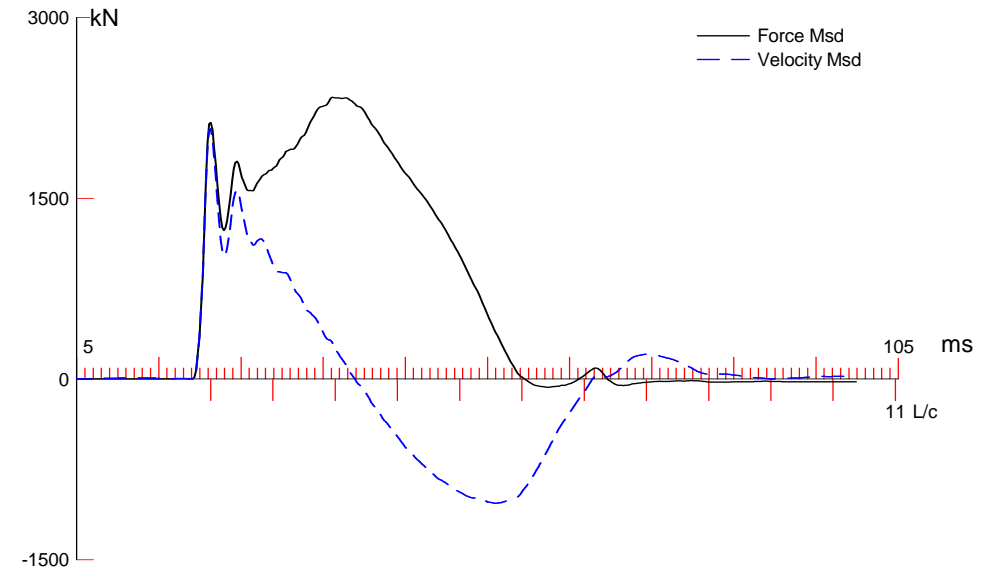
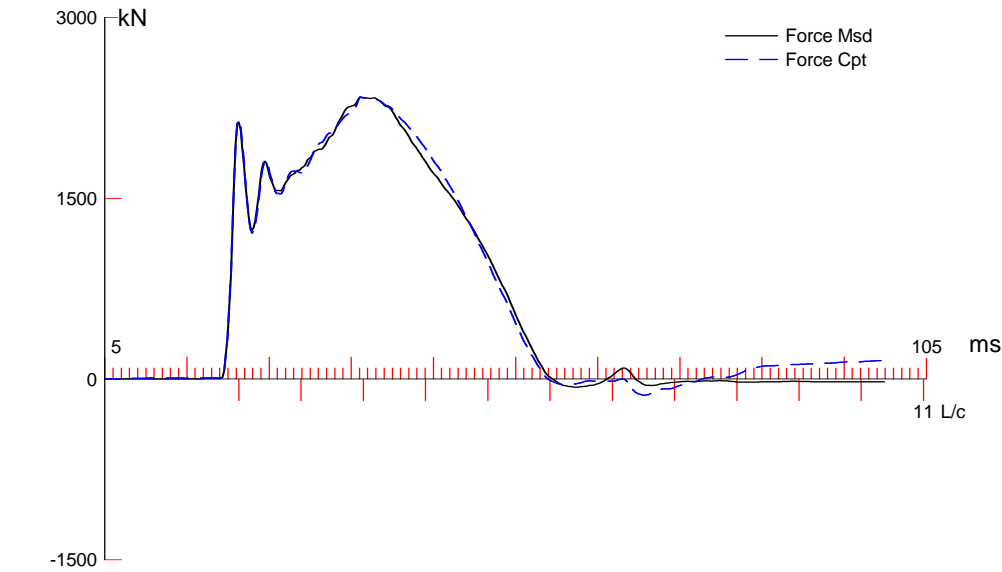
Current CAPWAP Ru = 1815.8 (kN); Corresponding J(RP)= 0.34; J(RX) = 0.52

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.61	20.73	2671.5	2686.5	2686.5	41.271	6.003	6.000	61.0	2579.8

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET3 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 1886
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 10:34:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
38.80	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.02 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.199 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	15.2 ms



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 12:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity:			2614.0; along Shaft		1947.0; at Toe		667.0 kN		
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				2614.0					
1	2.0	2.0	35.9	2578.1	35.9	17.58	17.28	0.338	7.500
2	4.1	4.1	27.8	2550.3	63.7	13.61	13.38	0.338	7.501
3	6.1	6.1	15.7	2534.6	79.4	7.69	7.56	0.338	7.501
4	8.2	8.2	12.9	2521.7	92.3	6.32	6.21	0.338	7.501
5	10.2	10.2	25.4	2496.3	117.7	12.44	12.22	0.338	7.501
6	12.3	12.3	36.8	2459.5	154.5	18.02	17.71	0.338	7.501
7	14.3	14.3	42.7	2416.8	197.2	20.91	20.55	0.338	7.501
8	16.3	16.3	60.6	2356.2	257.8	29.68	29.16	0.338	7.501
9	18.4	18.4	75.1	2281.1	332.9	36.78	36.14	0.338	7.501
10	20.4	20.4	82.4	2198.7	415.3	40.35	39.65	0.338	7.501
11	22.5	22.5	80.4	2118.3	495.7	39.37	38.69	0.338	7.501
12	24.5	24.5	123.5	1994.8	619.2	60.48	59.43	0.338	7.501
13	26.5	26.5	135.5	1859.3	754.7	66.35	65.21	0.338	7.501
14	28.6	28.6	152.1	1707.2	906.8	74.48	73.20	0.338	7.501
15	30.6	30.6	170.6	1536.6	1077.4	83.54	82.10	0.338	7.501
16	32.7	32.7	172.8	1363.8	1250.2	84.62	83.16	0.338	7.501
17	34.7	34.7	199.7	1164.1	1449.9	97.79	96.10	0.338	6.594
18	36.8	36.8	232.5	931.6	1682.4	113.85	111.89	0.338	5.425
19	38.8	38.8	264.6	667.0	1947.0	129.57	127.34	0.338	4.447
Avg. Shaft			102.5			50.18	49.31	0.338	6.745
Toe			667.0				8094.95	0.614	4.546
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						1.628	1.013		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			18			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							0.002		
Soil Plug Weight			(kN)				0.28		
CAPWAP match quality			=	1.78	(Force Match)		; RSA = 0		
Observed: final set			=	1.000 mm;	blow count		=	1000 b/m	
Computed: final set			=	0.100 mm;	blow count		=	9999 b/m	
max. Top Comp. Stress			=	237.5 MPa	(T= 36.3 ms, max= 1.023 x Top)				
max. Comp. Stress			=	243.0 MPa	(Z= 10.2 m, T= 38.3 ms)				
max. Tens. Stress			=	-31.65 MPa	(Z= 24.5 m, T= 66.0 ms)				
max. Energy (EMX)			=	70.79 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=41.41 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZET3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 12:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2342.3	-135.2	237.5	-13.71	70.79	5.1	40.278
2	2.0	2387.2	-152.8	242.1	-15.50	69.65	5.0	39.126
4	4.1	2389.5	-165.5	242.3	-16.78	64.46	5.0	36.840
6	6.1	2389.8	-176.5	242.3	-17.90	60.00	4.9	34.557
8	8.2	2394.8	-184.8	242.8	-18.74	56.38	4.9	32.263
10	10.2	2396.6	-219.7	243.0	-22.28	52.98	4.8	29.962
12	12.3	2386.4	-248.8	242.0	-25.23	49.04	4.7	27.667
14	14.3	2361.1	-271.0	239.4	-27.49	44.75	4.6	25.394
16	16.3	2327.7	-291.6	236.0	-29.57	40.47	4.4	23.148
18	18.4	2273.2	-301.5	230.5	-30.57	35.87	4.3	20.950
20	20.4	2205.3	-305.7	223.6	-31.00	31.24	4.1	18.812
22	22.5	2130.4	-309.7	216.0	-31.40	26.88	3.9	16.743
24	24.5	2056.8	-312.1	208.6	-31.65	23.04	3.7	14.744
26	26.5	1940.5	-301.0	196.8	-30.53	18.93	3.4	12.853
28	28.6	1815.3	-288.9	184.1	-29.30	15.28	3.2	11.083
30	30.6	1672.2	-273.9	169.6	-27.78	12.09	2.9	9.448
32	32.7	1515.0	-251.6	153.6	-25.51	9.37	2.7	7.968
34	34.7	1353.4	-222.8	137.2	-22.60	7.25	2.4	6.646
35	35.7	1166.3	-190.7	118.3	-19.34	5.82	2.2	6.075
36	36.8	1238.6	-194.8	125.6	-19.75	5.49	2.1	5.504
37	37.8	1077.6	-158.3	109.3	-16.05	4.28	1.9	5.039
38	38.8	1114.6	-160.7	113.0	-16.29	3.23	1.8	4.575
Absolute	10.2			243.0			(T =	38.3 ms)
	24.5				-31.65		(T =	66.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3162.5	3053.2	2943.8	2834.4	2725.1	2615.7	2506.3	2397.0	2287.6	2178.2
RX	3162.5	3053.2	2944.5	2836.9	2729.3	2621.7	2530.4	2477.1	2423.8	2370.5
RU	3162.5	3053.2	2943.8	2834.4	2725.1	2615.7	2506.3	2397.0	2287.6	2178.2

RAU = 2248.0 (kN); RA2 = 2365.3 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2614.0 (kN); Corresponding J(RP)= 0.50; J(RX) = 0.51

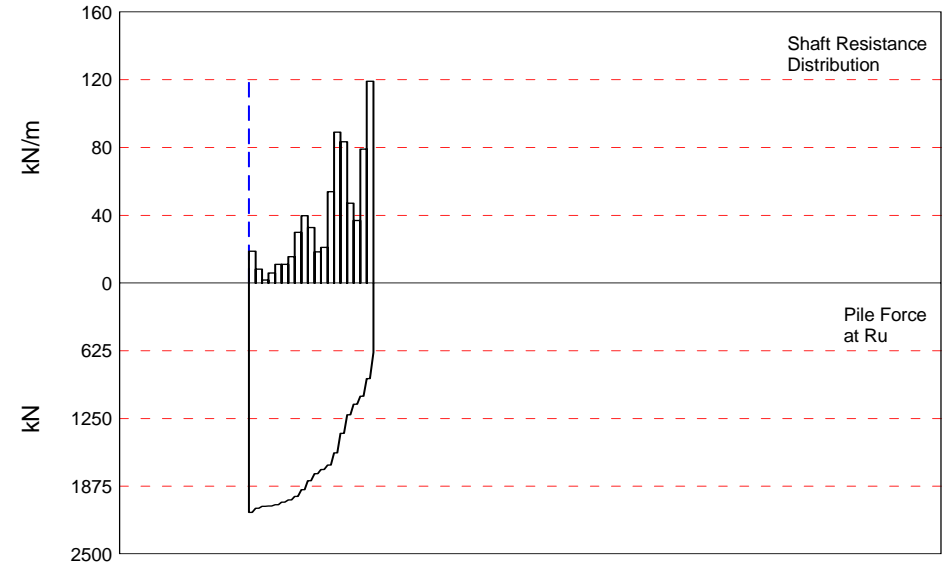
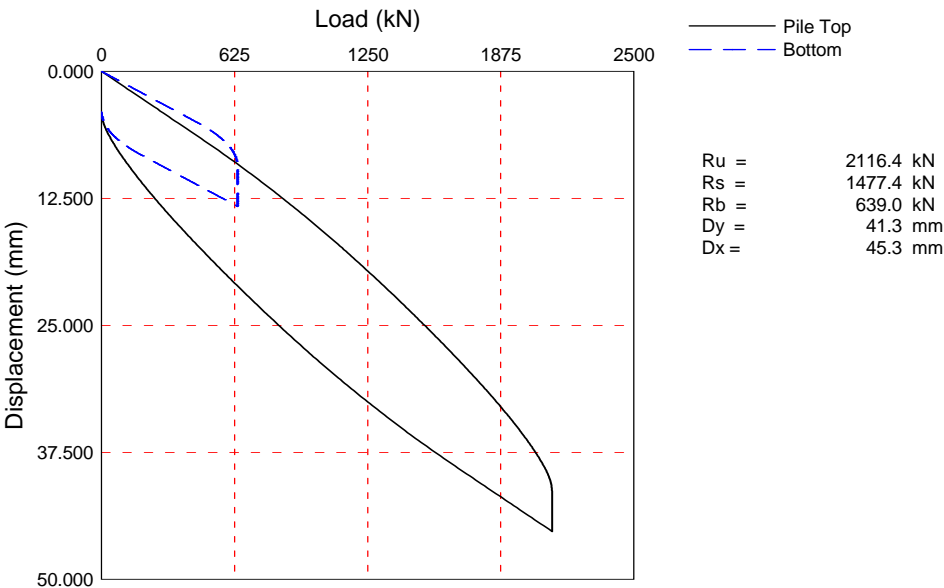
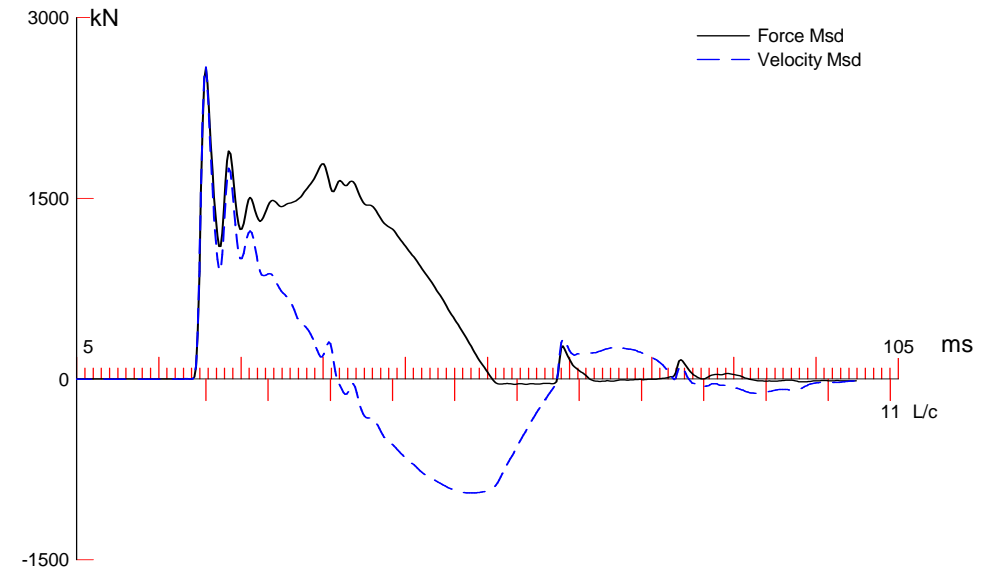
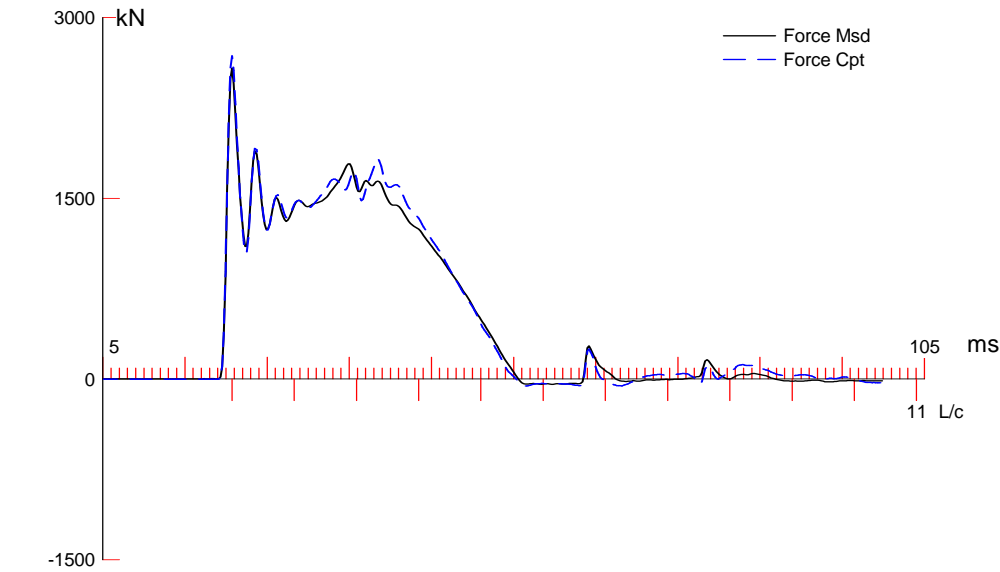
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.18	21.53	2094.0	2162.2	2340.8	41.414	0.999	1.000	72.4	3414.3

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
38.80	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZET3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 12:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
3	3.06	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
38	38.80	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.199 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		15.2 ms	



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET3
 Junttan HHK 5A; Blow: 21
 Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:16:
 CAPWAP(R) 2006-2
 OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity:			2116.4; along Shaft		1477.4; at Toe		639.0 kN		
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				2116.4					
1	2.0	1.2	38.4	2078.0	38.4	30.92	30.38	0.264	7.500
2	4.1	3.3	16.9	2061.1	55.3	8.28	8.13	0.264	7.502
3	6.1	5.3	3.9	2057.2	59.2	1.91	1.88	0.264	7.502
4	8.2	7.4	12.2	2045.0	71.4	5.97	5.87	0.264	7.502
5	10.2	9.4	22.6	2022.4	94.0	11.07	10.88	0.264	7.502
6	12.3	11.5	22.6	1999.8	116.6	11.07	10.88	0.264	7.502
7	14.3	13.5	32.0	1967.8	148.6	15.67	15.40	0.264	7.502
8	16.3	15.5	61.2	1906.6	209.8	29.97	29.45	0.264	7.502
9	18.4	17.6	81.4	1825.2	291.2	39.86	39.17	0.264	7.502
10	20.4	19.6	67.0	1758.2	358.2	32.81	32.24	0.264	7.502
11	22.5	21.7	37.5	1720.7	395.7	18.36	18.05	0.264	7.502
12	24.5	23.7	43.1	1677.6	438.8	21.11	20.74	0.264	7.502
13	26.5	25.7	110.0	1567.6	548.8	53.87	52.94	0.264	7.502
14	28.6	27.8	181.8	1385.8	730.6	89.03	87.49	0.264	7.502
15	30.6	29.8	170.2	1215.6	900.8	83.35	81.91	0.264	7.502
16	32.7	31.9	96.2	1119.4	997.0	47.11	46.30	0.264	7.502
17	34.7	33.9	75.6	1043.8	1072.6	37.02	36.38	0.264	7.502
18	36.8	36.0	161.5	882.3	1234.1	79.09	77.72	0.264	7.502
19	38.8	38.0	243.3	639.0	1477.4	119.14	117.09	0.264	6.447
Avg. Shaft			77.8			38.88	38.21	0.264	7.328
Toe			639.0				7755.13	0.423	7.150
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						0.965	0.669		
Unloading Quake			(% of loading quake)			161	78		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			78			
Soil Support Dashpot						2.164	9.049		
Soil Support Weight			(kN)			10.39	10.39		
CAPWAP match quality			=	2.00	(Force Match)		; RSA = 0		
Observed: final set			=	4.000 mm;	blow count		=	250 b/m	
Computed: final set			=	3.746 mm;	blow count		=	267 b/m	
max. Top Comp. Stress			=	272.1 MPa	(T= 20.9 ms, max= 1.014 x Top)				
max. Comp. Stress			=	275.9 MPa	(Z= 2.0 m, T= 21.3 ms)				
max. Tens. Stress			=	-29.48 MPa	(Z= 16.3 m, T= 60.0 ms)				
max. Energy (EMX)			=	61.51 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=37.99 mm				

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET3
Junttan HHK 5A; Blow: 21
Inspecta

Test: 04-Mar-2015 16:16:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2682.9	-58.9	272.1	-5.98	61.51	6.3	37.238
2	2.0	2721.0	-106.1	275.9	-10.75	61.35	6.3	36.439
4	4.1	2657.1	-107.2	269.4	-10.88	57.53	6.3	34.729
6	6.1	2626.1	-141.1	266.3	-14.30	54.86	6.2	32.910
8	8.2	2627.3	-189.4	266.4	-19.20	53.03	6.2	31.132
10	10.2	2617.8	-226.8	265.5	-22.99	50.74	6.1	29.332
12	12.3	2587.7	-253.1	262.4	-25.67	48.02	6.1	27.547
14	14.3	2567.3	-277.2	260.3	-28.11	45.48	5.9	25.818
16	16.3	2560.4	-290.7	259.6	-29.48	42.57	5.8	24.045
18	18.4	2519.1	-275.0	255.4	-27.89	38.74	5.6	22.287
20	20.4	2425.9	-248.0	246.0	-25.15	34.66	5.5	20.633
22	22.5	2343.4	-240.4	237.6	-24.38	31.33	5.4	19.035
24	24.5	2329.7	-256.5	236.2	-26.01	29.01	5.3	17.452
26	26.5	2355.4	-259.6	238.9	-26.32	26.75	5.0	15.923
28	28.6	2306.1	-236.6	233.8	-24.00	23.40	4.7	14.501
30	30.6	2139.1	-194.3	216.9	-19.70	19.36	4.5	13.237
32	32.7	1959.7	-167.9	198.7	-17.03	16.05	4.3	12.132
34	34.7	1884.3	-169.7	191.1	-17.21	14.15	4.2	11.124
35	35.7	1826.2	-176.0	185.2	-17.85	12.98	4.1	10.663
36	36.8	1822.8	-180.3	184.8	-18.28	12.78	4.1	10.205
37	37.8	1547.3	-181.6	156.9	-18.42	10.89	4.2	9.843
38	38.8	1550.0	-184.6	157.2	-18.72	8.95	4.2	9.479
Absolute	2.0			275.9			(T =	21.3 ms)
	16.3				-29.48		(T =	60.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3260.7	3063.7	2866.7	2669.7	2472.7	2275.7	2078.7	1881.6	1684.6	1487.6
RX	3260.7	3063.7	2866.7	2669.7	2472.7	2275.7	2078.7	1972.9	1874.4	1814.5
RU	3260.7	3063.7	2866.7	2669.7	2472.7	2275.7	2078.7	1881.6	1684.6	1487.6

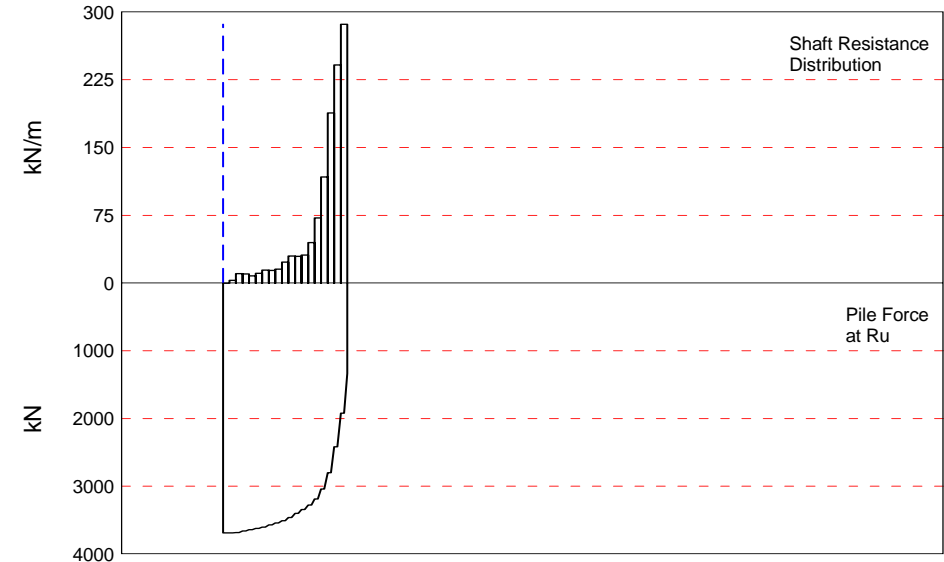
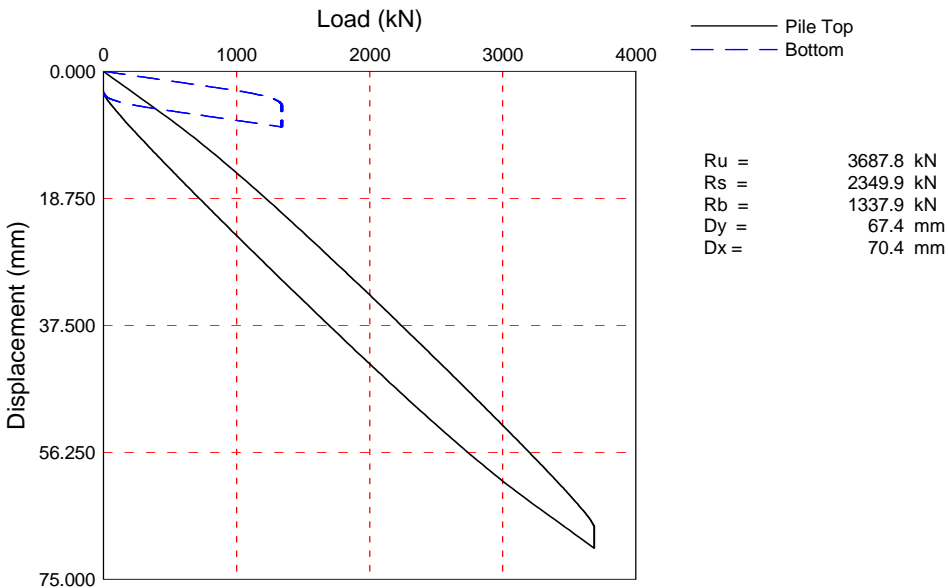
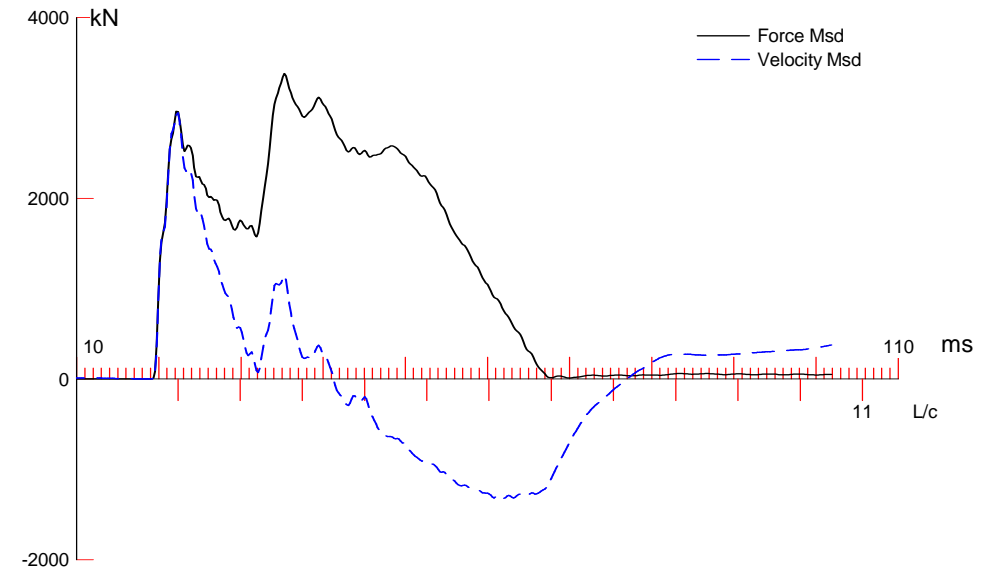
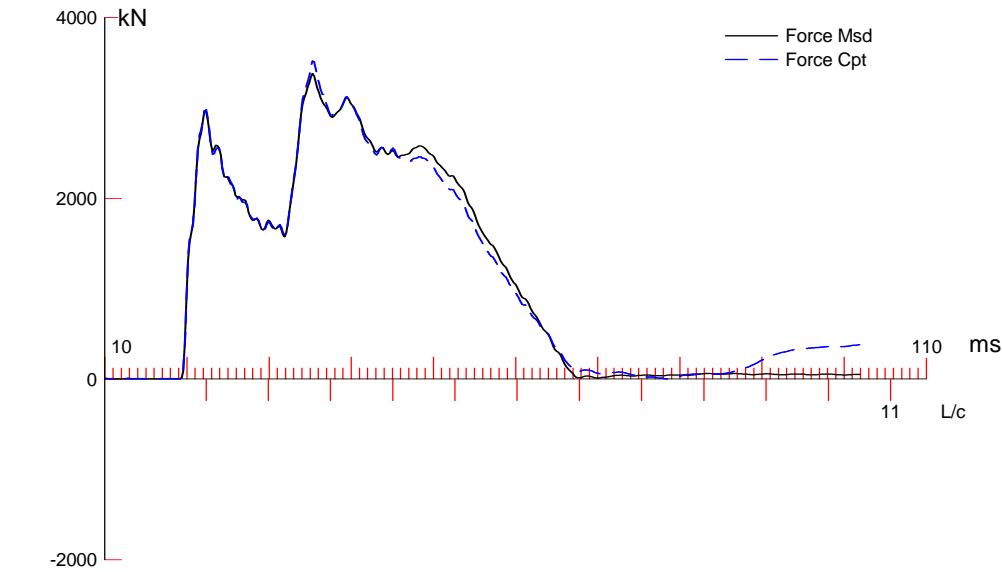
RAU = 59.2 (kN); RA2 = 1910.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2116.4 (kN); Corresponding J(RP)= 0.58; J(RX) = 0.58

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.49	20.93	2622.3	2608.5	2608.5	37.993	3.993	4.000	61.9	2946.2

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
38.80	98.61	210000.0	78.500	1.018

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZET3					Test: 04-Mar-2015 16:16:				
Junttan HHK 5A; Blow: 21					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.04
3	3.06	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.03
38	38.80	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.03
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.199 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 15.2 ms		



Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET3
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 23
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 17:09:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS									
Total CAPWAP Capacity:			3687.8; along Shaft		2349.9; at Toe		1337.9 kN		
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				3687.8					
1	2.0	2.0	0.0	3687.8	0.0	0.00	0.00	0.000	6.196
2	4.1	4.1	6.1	3681.7	6.1	2.99	2.94	0.862	6.197
3	6.1	6.1	21.6	3660.1	27.7	10.58	10.39	0.862	6.197
4	8.2	8.2	20.8	3639.3	48.5	10.19	10.01	0.862	6.197
5	10.2	10.2	16.7	3622.6	65.2	8.18	8.04	0.862	6.197
6	12.3	12.3	22.4	3600.2	87.6	10.97	10.78	0.862	6.197
7	14.3	14.3	29.4	3570.8	117.0	14.40	14.15	0.862	6.197
8	16.3	16.3	28.7	3542.1	145.7	14.05	13.81	0.862	6.197
9	18.4	18.4	31.7	3510.4	177.4	15.52	15.26	0.862	6.197
10	20.4	20.4	47.3	3463.1	224.7	23.16	22.76	0.862	6.197
11	22.5	22.5	61.0	3402.1	285.7	29.87	29.36	0.862	6.197
12	24.5	24.5	60.5	3341.6	346.2	29.63	29.12	0.862	6.197
13	26.5	26.5	63.3	3278.3	409.5	31.00	30.46	0.862	6.197
14	28.6	28.6	91.9	3186.4	501.4	45.00	44.23	0.862	6.197
15	30.6	30.6	146.9	3039.5	648.3	71.94	70.69	0.862	6.197
16	32.7	32.7	239.7	2799.8	888.0	117.38	115.35	0.862	6.197
17	34.7	34.7	384.3	2415.5	1272.3	188.19	184.94	0.862	6.197
18	36.8	36.8	492.7	1922.8	1765.0	241.27	237.11	0.862	5.687
19	38.8	38.8	584.9	1337.9	2349.9	286.42	281.48	0.862	3.775
Avg. Shaft			123.7			60.56	59.52	0.862	5.487
Toe			1337.9				16237.22	0.394	3.803
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						5.010	1.304		
Damping Type						Smith			
Unloading Quake			(% of loading quake)			100	31		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			11			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							2.841		
Soil Plug Weight			(kN)				0.06		
CAPWAP match quality			=	2.88	(Wave Up Match) ; RSA = 0				
Observed: final set			=	3.000 mm;	blow count	=	333 b/m		
Computed: final set			=	0.100 mm;	blow count	=	9999 b/m		
max. Top Comp. Stress			=	361.4 MPa	(T= 35.7 ms, max= 1.012 x Top)				
max. Comp. Stress			=	365.8 MPa	(Z= 6.1 m, T= 36.7 ms)				
max. Tens. Stress			=	-68.88 MPa	(Z= 38.8 m, T= 75.0 ms)				
max. Energy (EMX)			=	129.64 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=55.64 mm				

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET3
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 23
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 17:09:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3563.6	-11.1	361.4	-1.13	129.64	7.2	53.421
2	2.0	3587.2	-24.5	363.8	-2.48	127.77	7.2	52.057
4	4.1	3606.8	-74.7	365.7	-7.58	123.99	7.0	49.322
6	6.1	3607.2	-159.2	365.8	-16.15	118.95	6.8	46.585
8	8.2	3572.0	-234.6	362.2	-23.79	111.06	6.7	43.856
10	10.2	3525.9	-292.0	357.5	-29.61	103.58	6.5	41.127
12	12.3	3486.9	-342.1	353.6	-34.69	96.95	6.3	38.360
14	14.3	3433.4	-386.2	348.2	-39.16	89.54	6.1	35.545
16	16.3	3363.5	-433.0	341.1	-43.90	81.37	5.8	32.680
18	18.4	3307.3	-478.5	335.4	-48.52	73.61	5.5	29.782
20	20.4	3251.0	-526.0	329.7	-53.34	65.89	5.2	26.867
22	22.5	3166.6	-567.5	321.1	-57.54	57.26	4.8	23.960
24	24.5	3065.9	-594.2	310.9	-60.25	48.36	4.4	21.094
26	26.5	3004.1	-626.5	304.6	-63.53	40.53	4.0	18.284
28	28.6	2966.7	-657.6	300.8	-66.69	33.54	3.7	15.527
30	30.6	2883.5	-662.9	292.4	-67.22	26.56	3.2	12.845
32	32.7	2733.3	-668.0	277.2	-67.74	19.69	3.0	10.283
34	34.7	2503.4	-668.1	253.9	-67.75	13.36	2.8	7.901
35	35.7	2189.4	-673.8	222.0	-68.33	9.95	2.8	6.825
36	36.8	2210.6	-674.2	224.2	-68.37	9.94	2.6	5.745
37	37.8	1942.6	-678.4	197.0	-68.79	8.60	2.4	4.782
38	38.8	1949.1	-679.3	197.7	-68.88	7.78	2.1	3.822
Absolute	6.1			365.8			(T =	36.7 ms)
	38.8				-68.88		(T =	75.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2951.2	2897.7	2844.1	2790.6	2737.1	2683.6	2630.0	2576.5	2523.0	2469.5
RX	4312.8	4148.5	3984.3	3820.1	3655.8	3516.8	3448.2	3379.5	3310.9	3254.6
RU	2951.2	2897.7	2844.1	2790.6	2737.1	2683.6	2630.0	2576.5	2523.0	2469.5

RAU = 2808.3 (kN); RA2 = 3260.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 3687.8 (kN); Corresponding J(RP)= 0.00; J(RX) = 0.38

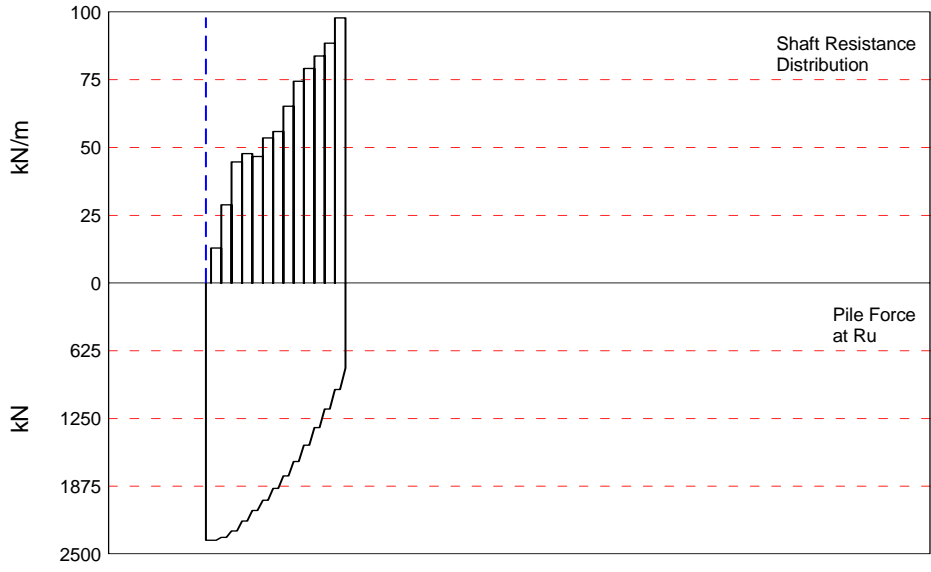
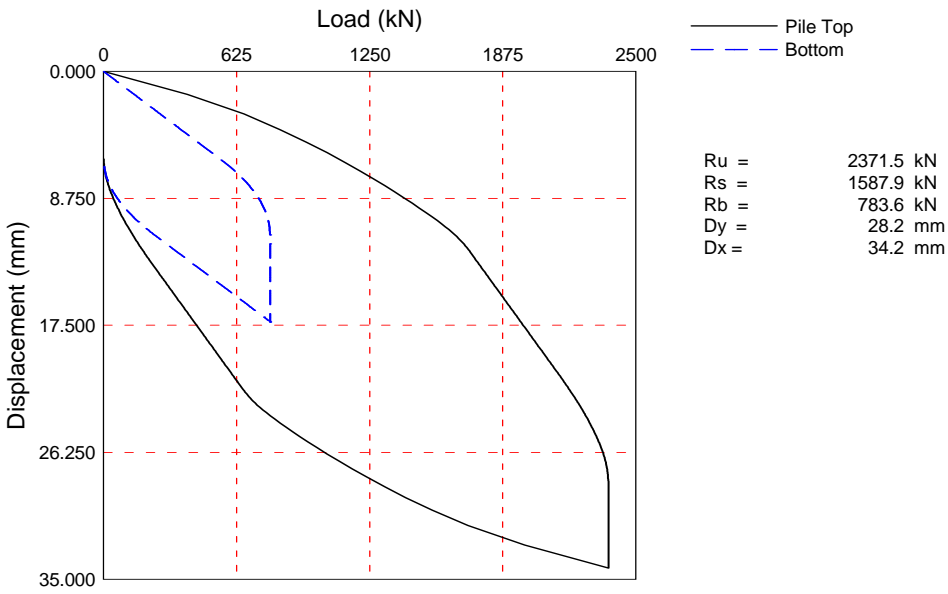
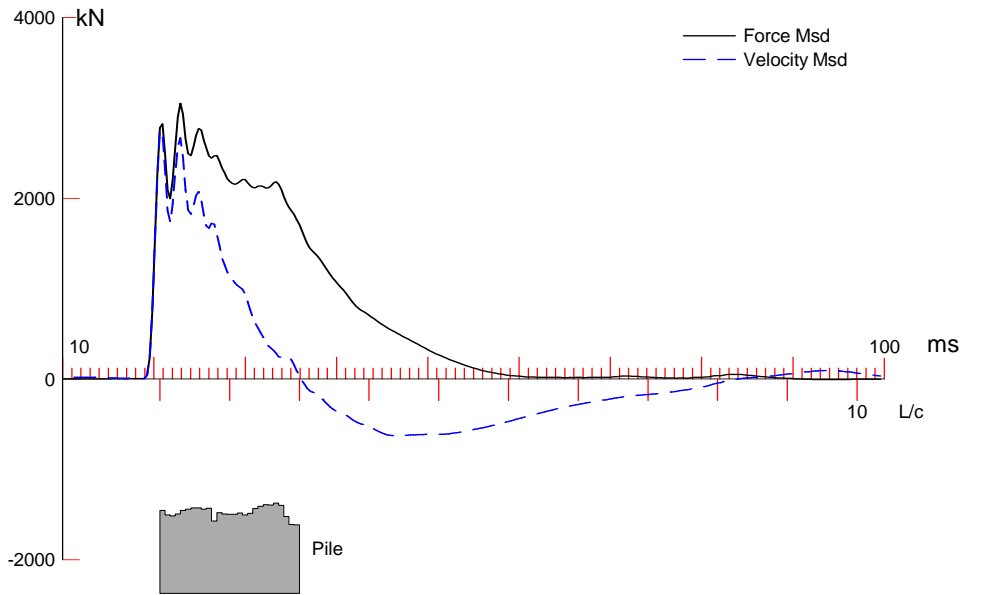
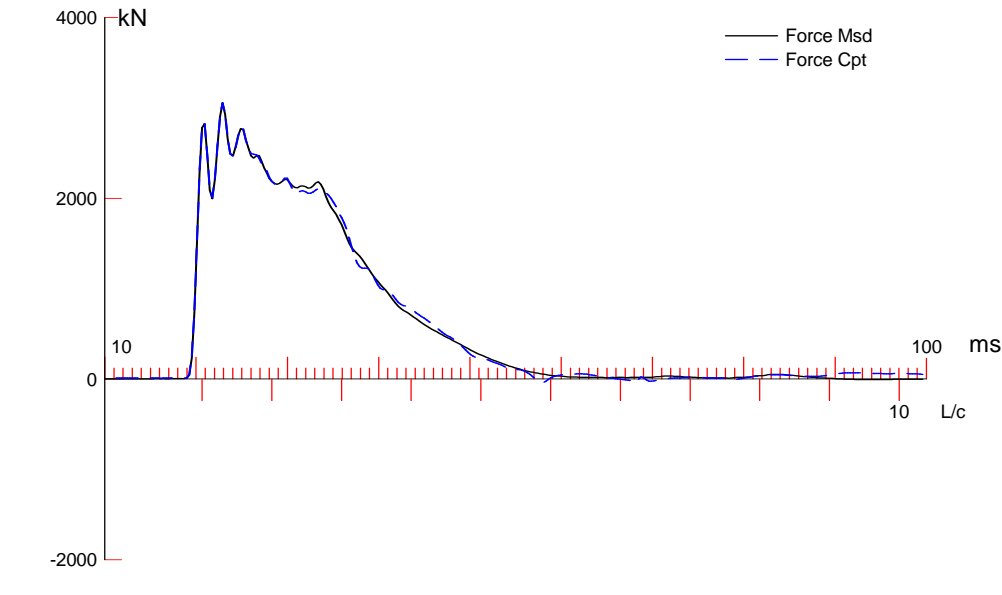
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.35	22.53	1719.0	1767.4	3389.1	55.641	3.041	3.000	133.3	4547.8

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
38.80	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZET3
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 23
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 17:09:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
3	3.06	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
38	38.80	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.01
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.199 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		15.2 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPB3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 12
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 09:02:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2371.5; along Shaft 1587.9; at Toe 783.6 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2371.5				
1	3.1	3.1	26.3	2345.2	26.3	8.61	7.17	0.646
2	5.1	5.1	58.9	2286.3	85.2	28.91	24.10	0.646
3	7.1	7.1	91.0	2195.3	176.2	44.67	37.23	0.646
4	9.2	9.2	97.2	2098.1	273.4	47.72	39.76	0.646
5	11.2	11.2	95.2	2002.9	368.6	46.73	38.95	0.646
6	13.2	13.2	109.1	1893.8	477.7	53.56	44.63	0.646
7	15.3	15.3	113.9	1779.9	591.6	55.91	46.60	0.646
8	17.3	17.3	132.8	1647.1	724.4	65.19	54.33	0.646
9	19.4	19.4	151.8	1495.3	876.2	74.52	62.10	0.646
10	21.4	21.4	161.3	1334.0	1037.5	79.18	65.99	0.646
11	23.4	23.4	170.8	1163.2	1208.3	83.85	69.87	0.646
12	25.5	25.5	180.3	982.9	1388.6	88.51	73.76	0.646
13	27.5	27.5	199.3	783.6	1587.9	97.84	81.53	0.646
Avg. Shaft			122.1			57.74	48.12	0.646
Toe			783.6				8706.67	0.248

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.005	8.632
Case Damping Factor			1.242	0.235
Damping Type			Smith	
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	69
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		6	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			1.319
Soil Plug Weight	(kN)			0.67
Soil Support Dashpot			1.045	3.372
Soil Support Weight	(kN)		12.22	12.22

CAPWAP match quality = 1.96 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 6.000 mm; blow count = 167 b/m
Computed: final set = 5.034 mm; blow count = 199 b/m
max. Top Comp. Stress = 34.9 MPa (T= 23.5 ms, max= 1.024 x Top)
max. Comp. Stress = 35.7 MPa (Z= 5.1 m, T= 24.6 ms)
max. Tens. Stress = -1.39 MPa (Z= 17.3 m, T= 64.5 ms)
max. Energy (EMX) = 59.88 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=25.08 mm

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZPB3 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 12
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 09:02:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3139.8	-39.6	34.9	-0.44	59.88	3.2	24.375
2	2.0	3159.2	-41.2	35.1	-0.46	59.47	3.2	23.846
4	4.1	3191.2	-47.7	35.5	-0.53	57.27	3.1	22.805
6	6.1	3031.0	-59.3	33.7	-0.66	53.79	3.0	21.845
8	8.1	3007.7	-72.0	33.4	-0.80	49.30	2.8	20.919
10	10.2	2810.2	-84.6	31.2	-0.94	44.81	2.8	19.979
12	12.2	2696.8	-107.2	30.0	-1.19	40.67	2.6	18.852
13	13.2	2764.1	-109.3	30.7	-1.21	40.26	2.5	18.341
14	14.3	2630.2	-114.9	29.2	-1.28	36.46	2.4	17.846
15	15.3	2697.1	-118.7	30.0	-1.32	36.05	2.3	17.335
16	16.3	2530.0	-120.3	28.1	-1.34	32.39	2.3	16.855
17	17.3	2598.6	-125.3	28.9	-1.39	32.02	2.1	16.360
18	18.3	2405.3	-121.8	26.7	-1.35	28.29	2.1	15.945
19	19.4	2428.6	-124.2	27.0	-1.38	28.12	1.9	15.635
20	20.4	2149.5	-118.1	23.9	-1.31	24.36	1.9	15.336
21	21.4	2212.1	-118.9	24.6	-1.32	24.20	1.8	15.046
22	22.4	1906.2	-110.5	21.2	-1.23	20.39	1.8	14.775
23	23.4	1779.1	-112.1	19.8	-1.25	20.26	2.0	14.509
24	24.4	1461.9	-103.4	16.2	-1.15	16.50	2.1	14.271
25	25.5	1539.8	-103.0	17.1	-1.14	16.37	1.9	13.995
26	26.5	1189.4	-97.3	13.2	-1.08	12.65	1.9	13.710
27	27.5	1144.6	-103.4	12.7	-1.15	8.82	2.2	13.471
Absolute	5.1			35.7			(T =	24.6 ms)
	17.3				-1.39		(T =	64.5 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3697.4	3492.4	3287.5	3082.6	2877.7	2672.8	2467.9	2263.0	2058.0	1853.1
RX	3697.4	3492.4	3287.5	3082.6	2877.7	2672.8	2467.9	2263.0	2058.6	1854.4
RU	3697.4	3492.4	3287.5	3082.6	2877.7	2672.8	2467.9	2263.0	2058.0	1853.1

RAU = 720.3 (kN); RA2 = 2297.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2371.5 (kN); Corresponding J(RP)= 0.65; J(RX) = 0.65

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.45	20.94	2846.5	2900.0	3079.7	25.077	5.997	6.000	60.5	3896.5

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	33038.8	25.000	1.200
27.50	900.00	33038.8	25.000	1.200

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPB3 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 09:02:

Junttan HHK 7A; Blow: 12

CAPWAP(R) 2006-2

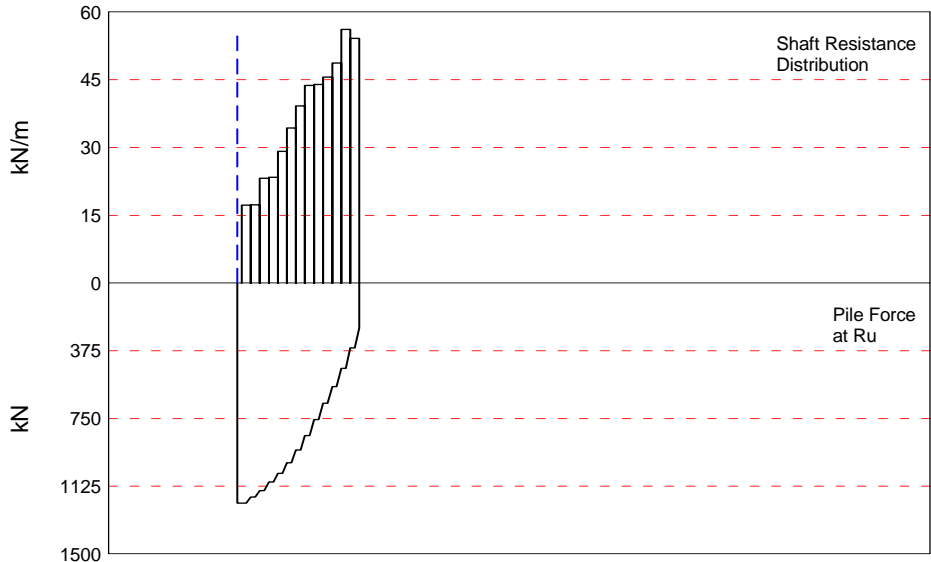
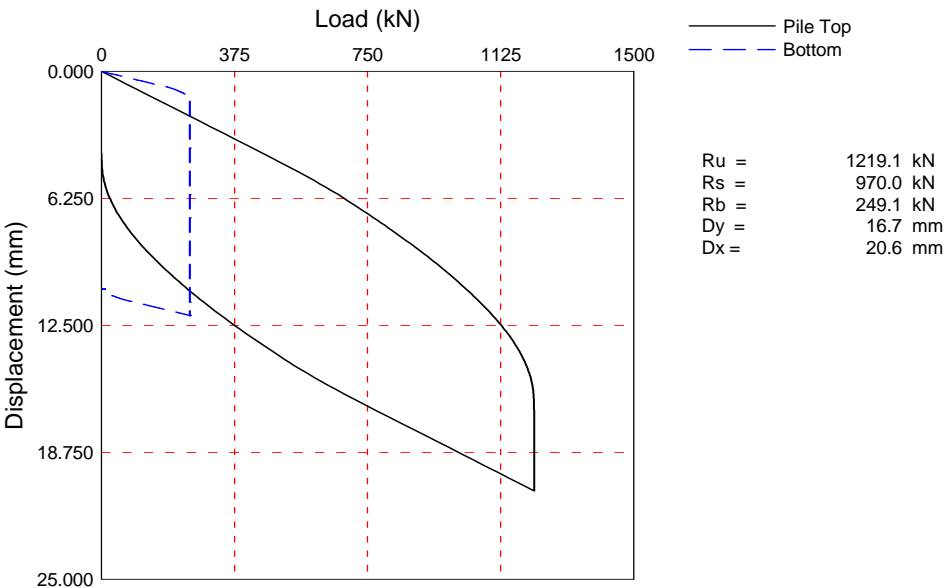
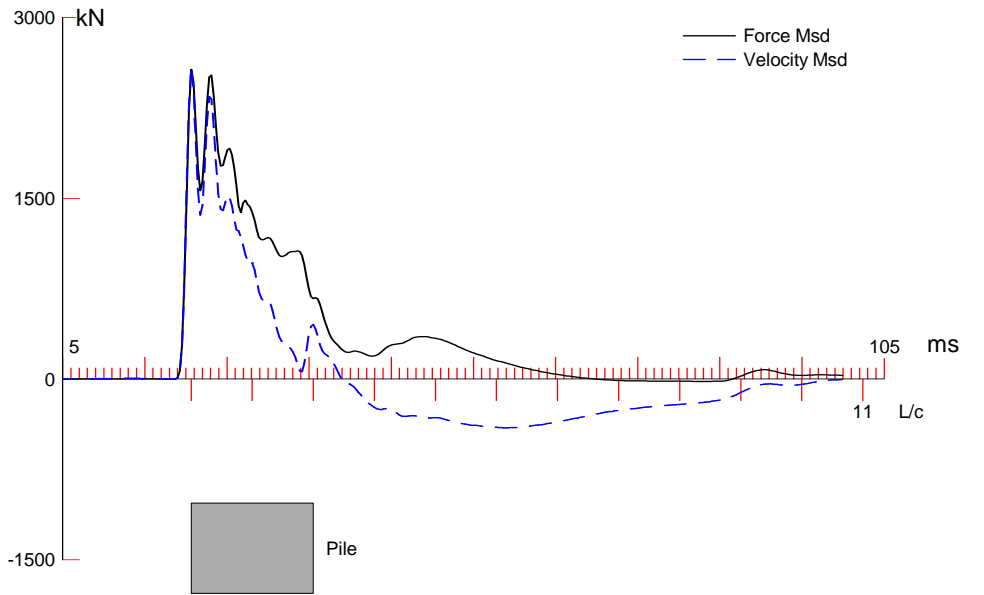
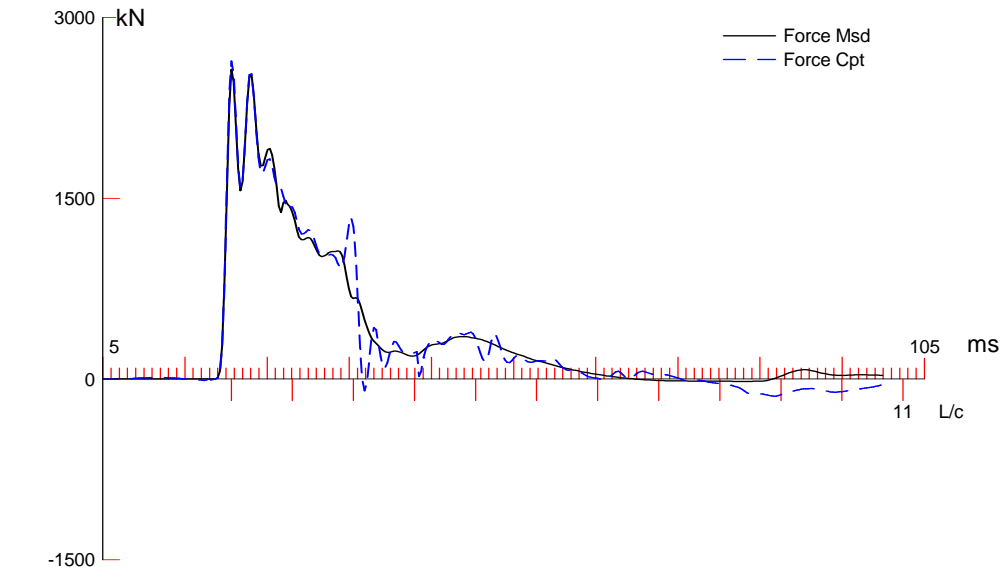
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	825.97	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.04	784.77	-4.99	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
3	3.06	773.17	-6.39	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
4	4.07	793.17	-3.97	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
5	5.09	827.57	0.19	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
6	6.11	841.87	1.93	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
7	7.13	853.37	3.32	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
8	8.15	853.07	3.28	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
9	9.17	841.27	1.85	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
10	10.19	851.47	3.09	0.000	0.000	-0.000	1.000	1.200	0.36
11	11.20	722.67	-12.51	0.000	0.000	-0.100	1.000	1.200	0.36
12	12.22	805.97	-2.42	0.000	0.000	-0.000	1.000	1.200	0.36
13	13.24	793.47	-3.93	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
14	14.26	788.07	-4.59	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
15	15.28	788.17	-4.58	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
16	16.30	800.57	-3.08	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
17	17.31	782.77	-5.23	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
18	18.33	800.47	-3.09	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
19	19.35	848.17	2.69	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
20	20.37	867.77	5.06	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
21	21.39	885.07	7.16	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
22	22.41	881.07	6.67	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
23	23.43	900.57	9.03	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
24	24.44	879.37	6.47	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
25	25.46	766.37	-7.22	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
26	26.48	686.57	-16.88	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36
27	27.50	682.97	-17.31	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.36

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.283 ms, Wave Speed 3600.0 m/s, 2L/c 15.3 ms



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPB3 24h
 Junttan HHK 5A; Blow: 7
 Inspecta

Test: 03-Mar-2015 14:24:
 CAPWAP(R) 2006-2
 OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1219.1; along Shaft 970.0; at Toe 249.1 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1219.1				
1	3.1	2.6	35.1	1184.0	35.1	13.73	11.45	0.452
2	5.1	4.6	35.3	1148.7	70.4	17.33	14.44	0.452
3	7.1	6.6	47.3	1101.4	117.7	23.22	19.35	0.452
4	9.2	8.7	47.7	1053.7	165.4	23.42	19.51	0.452
5	11.2	10.7	59.4	994.3	224.8	29.16	24.30	0.452
6	13.2	12.7	69.9	924.4	294.7	34.31	28.60	0.452
7	15.3	14.8	79.9	844.5	374.6	39.22	32.69	0.452
8	17.3	16.8	89.2	755.3	463.8	43.79	36.49	0.452
9	19.4	18.9	89.6	665.7	553.4	43.99	36.65	0.452
10	21.4	20.9	92.8	572.9	646.2	45.56	37.96	0.452
11	23.4	22.9	99.2	473.7	745.4	48.70	40.58	0.452
12	25.5	25.0	114.3	359.4	859.7	56.11	46.76	0.452
13	27.5	27.0	110.3	249.1	970.0	54.15	45.12	0.452
Avg. Shaft			74.6			35.93	29.94	0.452
Toe			249.1				2767.78	1.200

Soil Model Parameters/Extensions

		Shaft	Toe
Quake	(mm)	6.154	1.046
Case Damping Factor		0.546	0.372
Damping Type		Smith	
Unloading Quake	(% of loading quake)	298	30
Reloading Level	(% of Ru)	100	100
Unloading Level	(% of Ru)	49	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)			0.042
Soil Plug Weight	(kN)		0.29
Soil Support Dashpot		0.200	3.000
Soil Support Weight	(kN)	12.22	12.22

CAPWAP match quality = 2.99 (Force Match) ; RSA = 0
 Observed: final set = 4.000 mm; blow count = 250 b/m
 Computed: final set = 4.173 mm; blow count = 240 b/m
 max. Top Comp. Stress = 29.3 MPa (T= 20.9 ms, max= 1.029 x Top)
 max. Comp. Stress = 30.2 MPa (Z= 2.0 m, T= 21.5 ms)
 max. Tens. Stress = -1.83 MPa (Z= 9.2 m, T= 87.0 ms)
 max. Energy (EMX) = 37.19 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=21.51 mm

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPB3 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 7
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 14:24:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2639.1	-143.4	29.3	-1.59	37.19	3.1	21.464
2	2.0	2714.8	-153.7	30.2	-1.71	37.60	3.1	21.400
4	4.1	2673.0	-155.8	29.7	-1.73	36.49	3.0	21.167
6	6.1	2636.8	-161.0	29.3	-1.79	35.40	3.0	20.957
8	8.1	2642.6	-161.7	29.4	-1.80	34.04	3.0	20.742
10	10.2	2630.4	-162.3	29.2	-1.80	32.71	3.0	20.542
12	12.2	2596.3	-156.4	28.8	-1.74	31.13	3.0	20.342
13	13.2	2590.5	-155.6	28.8	-1.73	31.08	2.9	20.185
14	14.3	2542.6	-145.8	28.3	-1.62	29.35	2.9	20.070
15	15.3	2532.8	-148.5	28.1	-1.65	29.30	2.9	19.934
16	16.3	2507.6	-140.5	27.9	-1.56	27.39	2.9	19.800
17	17.3	2538.4	-142.3	28.2	-1.58	27.35	2.9	19.663
18	18.3	2503.7	-129.3	27.8	-1.44	25.28	2.9	19.544
19	19.4	2524.0	-129.1	28.0	-1.43	25.23	2.8	19.404
20	20.4	2485.3	-116.9	27.6	-1.30	23.39	2.8	19.265
21	21.4	2495.9	-117.7	27.7	-1.31	23.37	2.8	19.115
22	22.4	2448.9	-104.9	27.2	-1.17	21.47	2.8	18.987
23	23.4	2446.9	-104.7	27.2	-1.16	21.47	3.1	18.848
24	24.4	2397.5	-135.0	26.6	-1.50	19.41	3.0	18.729
25	25.5	2380.6	-161.6	26.5	-1.80	19.38	2.8	18.661
26	26.5	1995.8	-139.5	22.2	-1.55	17.08	3.5	18.652
27	27.5	1440.8	-115.6	16.0	-1.28	14.88	3.9	18.617
Absolute	2.0			30.2			(T =	21.5 ms)
	9.2				-1.83		(T =	87.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2727.4	2476.0	2224.5	1973.0	1721.6	1470.1	1218.6	967.1	715.7	464.2
RX	2727.4	2476.0	2225.3	1975.8	1726.3	1476.8	1227.3	977.8	734.2	692.8
RU	2727.4	2476.0	2224.5	1973.0	1721.6	1470.1	1218.6	967.1	715.7	464.2

RAU = 638.4 (kN); RA2 = 1117.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1219.1 (kN); Corresponding J(RP)= 0.60; J(RX) = 0.60

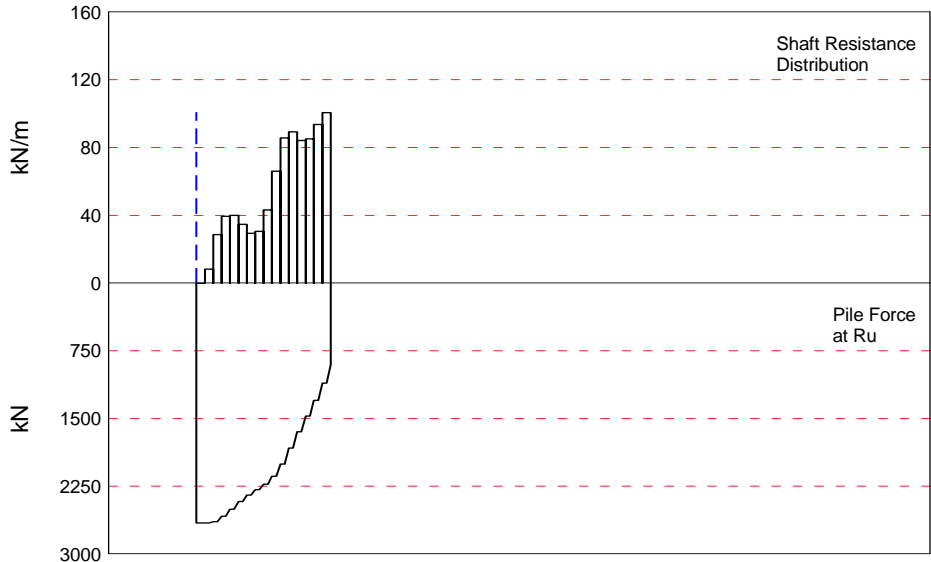
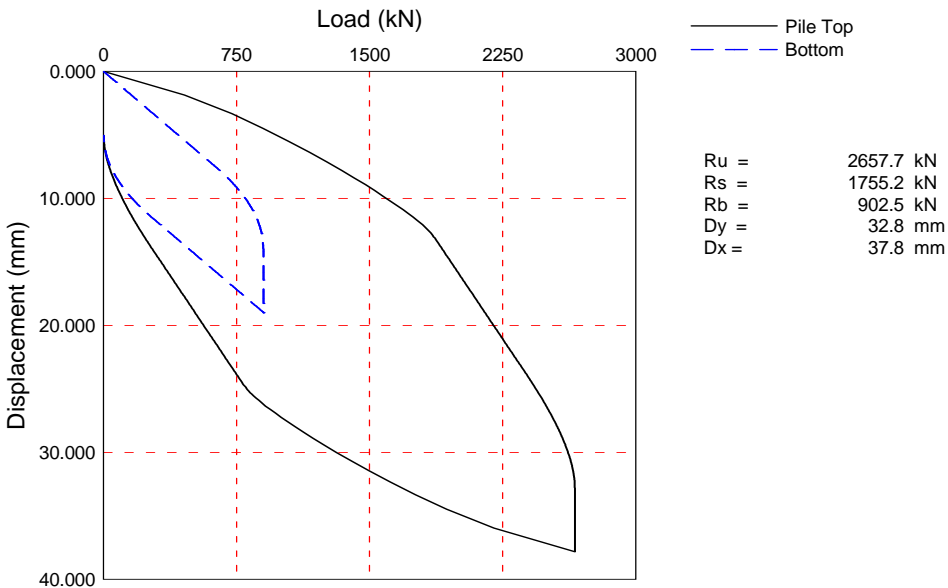
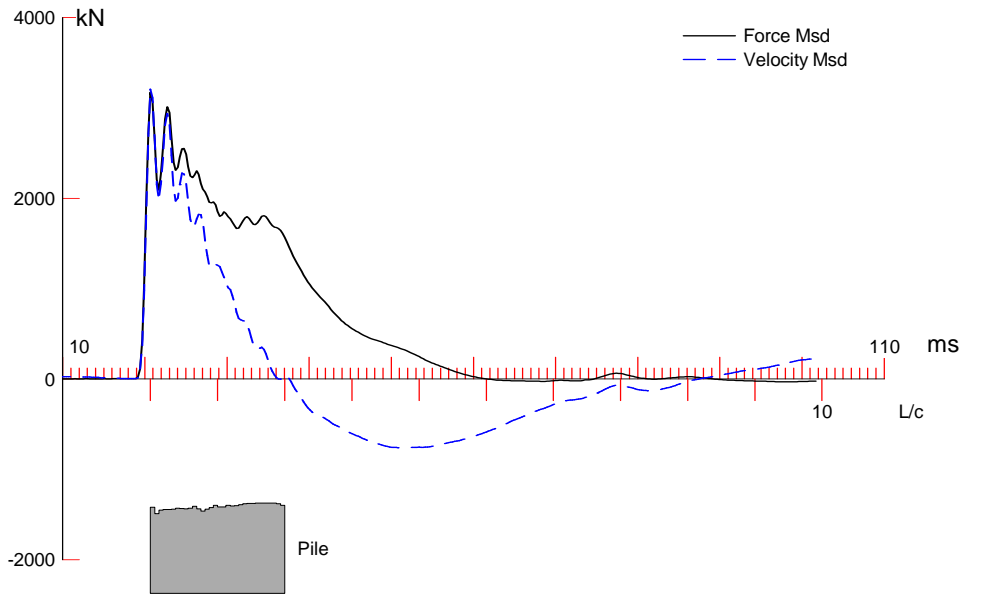
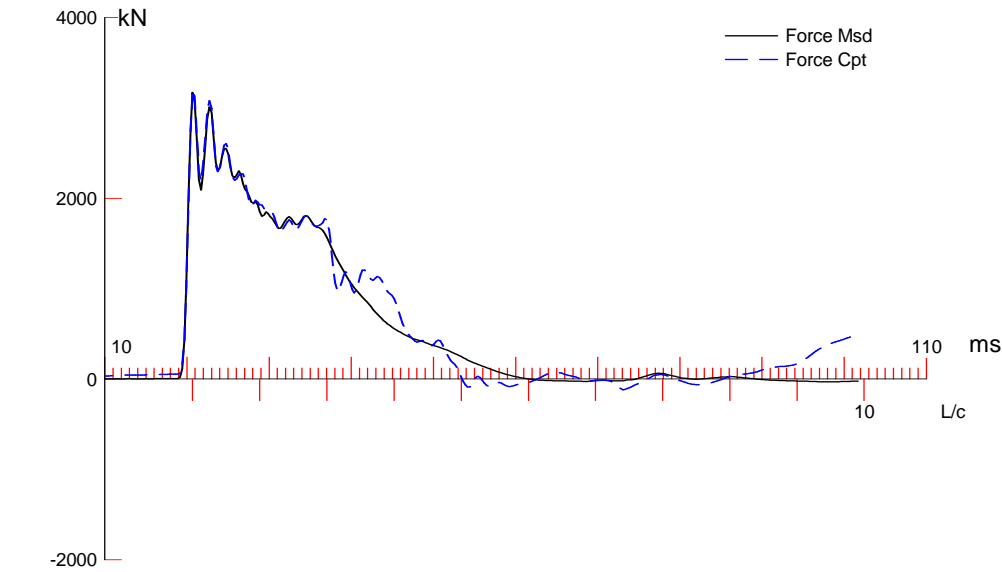
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.27	20.92	2624.0	2618.2	2618.2	21.510	3.961	4.000	37.3	2925.3

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	31228.8	25.000	1.200
12.50	900.00	31228.8	25.000	1.200

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPB3 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 7
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 14:24:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL									
Depth			Area	E-Modulus		Spec. Weight		Perim.	
m			cm²	MPa		kN/m³		m	
12.50			900.00	40000.0		26.000		1.200	
12.50			900.00	40000.0		26.000		1.200	
12.50			900.00	31228.8		25.000		1.200	
27.50			900.00	31228.8		25.000		1.200	
Toe Area			0.090	m²					
Segmnt	Dist.	Impedance	Imped.	Tension		Compression		Perim.	Soil
Number	B.G.		Change	Slack	Eff.	Slack	Eff.		Plug
	m	kN/m/s	%	mm		mm		m	kN
1	1.02	803.03	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.04	803.03	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.18
3	3.06	803.03	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
12	12.22	803.03	0.00	0.200	1.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
13	13.24	803.03	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
27	27.50	803.03	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.22
Pile Damping		2.0 %, Time Incr		0.275 ms, Wave Speed		3700.0 m/s, 2L/c		14.9 ms	



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPB4 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 6
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 08:46:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2657.7; along Shaft 1755.2; at Toe 902.5 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2657.7				
1	2.0	2.0	0.0	2657.7	0.0	0.00	0.00	0.000
2	4.1	4.1	17.0	2640.7	17.0	8.32	6.93	0.168
3	6.1	6.1	58.5	2582.2	75.5	28.62	23.85	0.168
4	8.2	8.2	80.4	2501.8	155.9	39.34	32.78	0.168
5	10.2	10.2	81.8	2420.0	237.7	40.02	33.35	0.168
6	12.3	12.3	71.0	2349.0	308.7	34.74	28.95	0.168
7	14.3	14.3	60.1	2288.9	368.8	29.41	24.51	0.168
8	16.3	16.3	62.6	2226.3	431.4	30.63	25.52	0.168
9	18.4	18.4	88.3	2138.0	519.7	43.20	36.00	0.168
10	20.4	20.4	135.0	2003.0	654.7	66.06	55.05	0.168
11	22.5	22.5	175.0	1828.0	829.7	85.63	71.36	0.168
12	24.5	24.5	182.6	1645.4	1012.3	89.35	74.45	0.168
13	26.6	26.6	172.2	1473.2	1184.5	84.26	70.21	0.168
14	28.6	28.6	174.1	1299.1	1358.6	85.19	70.99	0.168
15	30.7	30.7	191.2	1107.9	1549.8	93.55	77.96	0.168
16	32.7	32.7	205.4	902.5	1755.2	100.50	83.75	0.168
Avg. Shaft			109.7			53.68	44.73	0.168
Toe			902.5				10027.78	0.584

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	10.735
Case Damping Factor			0.321	0.574
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	55
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			0.046
Soil Plug Weight	(kN)			0.67
Soil Support Dashpot			0.800	6.927
Soil Support Weight	(kN)		12.26	12.26

CAPWAP match quality = 2.72 (Force Match) ; RSA = 0
Observed: final set = 5.000 mm; blow count = 200 b/m
Computed: final set = 9.405 mm; blow count = 106 b/m
max. Top Comp. Stress = 35.5 MPa (T= 20.9 ms, max= 1.032 x Top)
max. Comp. Stress = 36.7 MPa (Z= 6.1 m, T= 22.7 ms)
max. Tens. Stress = -2.95 MPa (Z= 26.6 m, T= 66.4 ms)
max. Energy (EMX) = 57.50 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=25.20 mm

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZPB4 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 08:46:

Junttan HHK 7A; Blow: 6

CAPWAP(R) 2006-2

Inspecta

OP: TRe

EXTREMA TABLE

Pile Sgmt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3198.0	-117.3	35.5	-1.30	57.50	3.5	24.872
2	2.0	3274.6	-114.9	36.4	-1.28	57.73	3.4	24.520
4	4.1	3254.6	-113.4	36.2	-1.26	57.09	3.3	23.704
6	6.1	3301.9	-112.4	36.7	-1.25	55.97	3.3	22.912
8	8.2	3282.8	-119.6	36.5	-1.33	53.51	3.2	22.033
10	10.2	3211.3	-122.9	35.7	-1.37	50.53	3.2	21.132
12	12.3	3087.9	-134.3	34.3	-1.49	47.64	3.1	20.254
14	14.3	3040.4	-161.2	33.8	-1.79	45.16	3.0	19.383
16	16.3	3000.9	-180.2	33.3	-2.00	42.96	2.9	18.495
18	18.4	3032.1	-194.6	33.7	-2.16	40.95	2.8	17.726
20	20.4	3040.9	-221.1	33.8	-2.46	38.64	2.7	17.069
22	22.5	2977.6	-248.8	33.1	-2.76	35.54	2.6	16.413
23	23.5	2787.2	-248.7	31.0	-2.76	32.14	2.5	16.104
24	24.5	2848.4	-259.6	31.6	-2.88	31.91	2.4	15.773
25	25.5	2651.5	-260.7	29.5	-2.90	28.47	2.4	15.440
26	26.6	2698.0	-265.9	30.0	-2.95	28.34	2.3	15.109
27	27.6	2394.2	-252.7	26.6	-2.81	25.29	2.3	14.824
28	28.6	2448.7	-246.7	27.2	-2.74	25.27	2.4	14.607
29	29.6	2268.0	-249.0	25.2	-2.77	22.33	2.5	14.373
30	30.7	2294.1	-261.1	25.5	-2.90	22.31	2.2	14.130
31	31.7	1927.6	-246.2	21.4	-2.74	19.24	2.4	13.924
32	32.7	1789.4	-238.1	19.9	-2.65	16.41	2.6	13.713
Absolute	6.1			36.7			(T =	22.7 ms)
	26.6				-2.95		(T =	66.4 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3999.3	3744.4	3489.5	3234.6	2979.7	2724.8	2469.9	2214.9	1960.0	1705.1
RX	3999.3	3744.4	3489.5	3234.6	2979.7	2724.8	2469.9	2214.9	1960.0	1705.1
RU	4079.6	3832.7	3585.8	3338.9	3092.0	2845.1	2598.3	2351.4	2104.5	1857.6

RAU = 838.4 (kN); RA2 = 1929.6 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2657.7 (kN); Corresponding J(RP)= 0.53; J(RX) = 0.53

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.60	20.95	3299.8	3248.6	3248.6	25.199	5.011	5.000	57.7	3819.6

PILE PROFILE AND PILE MODEL

Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	40788.6	25.000	1.200
32.70	900.00	40788.6	25.000	1.200

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPB4 14 vrk

Test: 18-Mar-2015 08:46:

Junttan HHK 7A; Blow: 6

CAPWAP(R) 2006-2

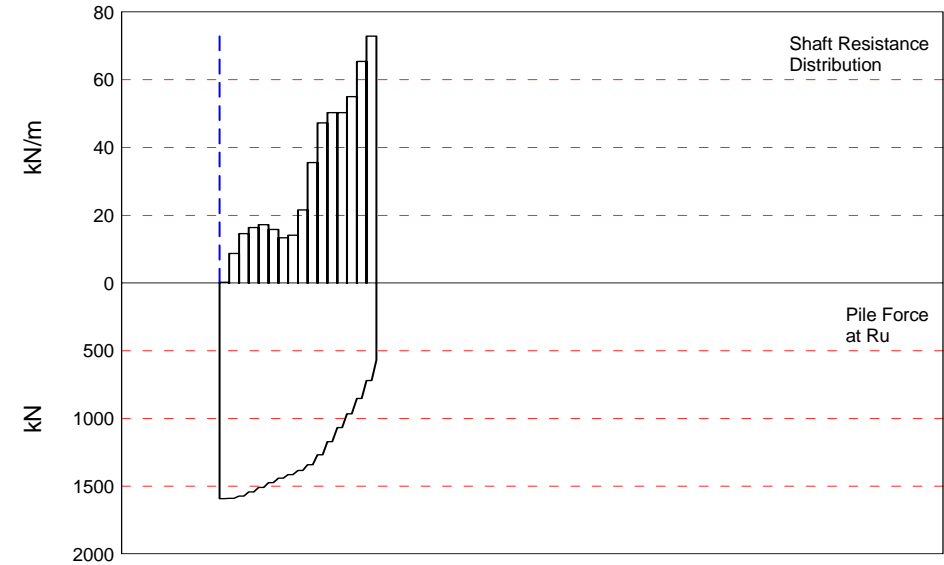
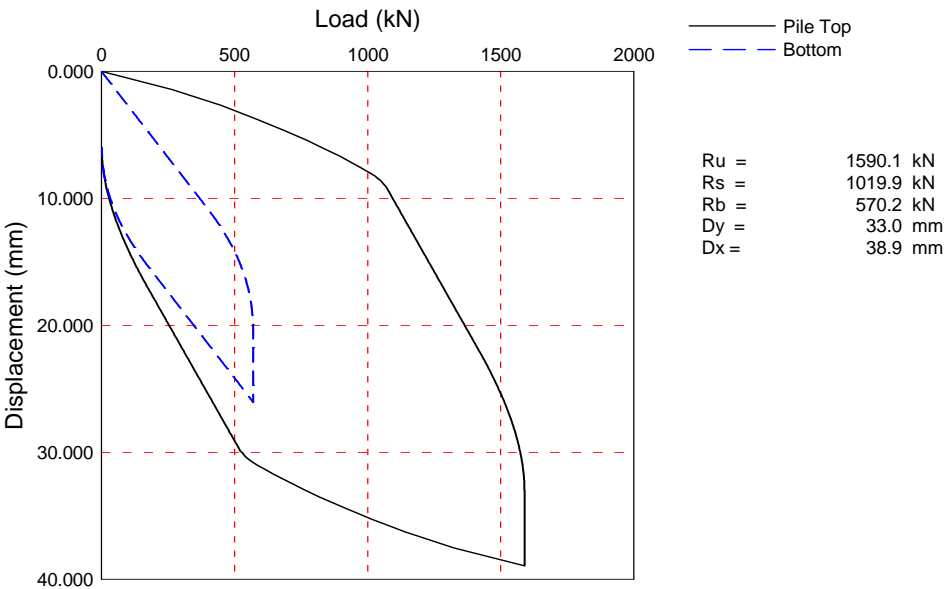
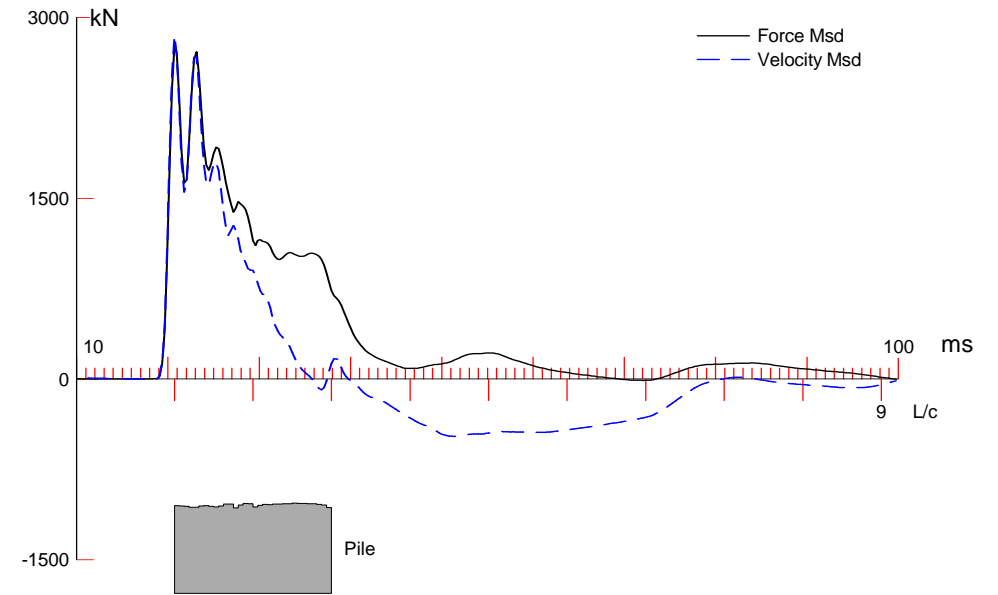
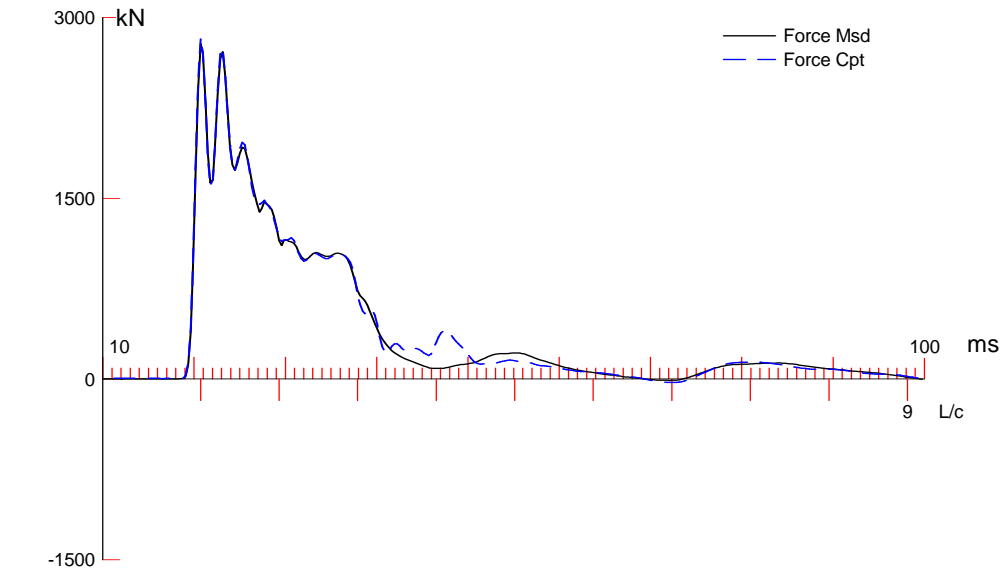
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	917.70	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.00
2	2.04	849.20	-7.46	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.16
3	3.07	887.10	-3.33	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
4	4.09	892.70	-2.72	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
5	5.11	891.40	-2.87	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
6	6.13	898.00	-2.15	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
7	7.15	905.80	-1.30	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
8	8.18	903.50	-1.55	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
9	9.20	899.50	-1.98	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
10	10.22	908.20	-1.04	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
11	11.24	926.50	0.96	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
12	12.26	901.04	-1.82	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
13	13.28	877.04	-4.43	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
14	14.31	896.24	-2.34	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
15	15.33	913.84	-0.42	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
16	16.35	937.70	2.18	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
17	17.37	920.50	0.31	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
18	18.39	919.20	0.16	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
19	19.42	935.90	1.98	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
20	20.44	931.30	1.48	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
21	21.46	934.40	1.82	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
22	22.48	945.10	2.99	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
23	23.50	953.80	3.93	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
24	24.52	956.60	4.24	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
25	25.55	958.50	4.45	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
26	26.57	960.50	4.66	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
27	27.59	959.90	4.60	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
28	28.61	960.70	4.69	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
29	29.63	960.10	4.62	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
30	30.66	960.00	4.61	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
31	31.68	954.00	3.96	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17
32	32.70	937.00	2.10	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.200	0.17

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.255 ms, Wave Speed 4000.0 m/s, 2L/c 16.4 ms



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPB4 24h
 Junttan HHK 5A; Blow: 14
 Inspecta

Test: 03-Mar-2015 14:46:
 CAPWAP(R) 2006-2
 OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1590.1; along Shaft 1019.9; at Toe 570.2 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1590.1				
1	2.0	2.0	0.5	1589.6	0.5	0.24	0.00	0.340
2	4.1	4.1	17.9	1571.7	18.4	8.76	0.01	0.340
3	6.1	6.1	29.8	1541.9	48.2	14.58	0.01	0.340
4	8.2	8.2	33.5	1508.4	81.7	16.39	0.01	0.340
5	10.2	10.2	35.2	1473.2	116.9	17.22	0.01	0.340
6	12.3	12.3	32.4	1440.8	149.3	15.85	0.01	0.340
7	14.3	14.3	27.3	1413.5	176.6	13.36	0.01	0.340
8	16.4	16.4	28.9	1384.6	205.5	14.14	0.01	0.340
9	18.4	18.4	44.2	1340.4	249.7	21.63	0.02	0.340
10	20.4	20.4	72.7	1267.7	322.4	35.57	0.03	0.340
11	22.5	22.5	96.7	1171.0	419.1	47.31	0.04	0.340
12	24.5	24.5	102.9	1068.1	522.0	50.35	0.04	0.340
13	26.6	26.6	102.7	965.4	624.7	50.25	0.04	0.340
14	28.6	28.6	112.5	852.9	737.2	55.05	0.05	0.340
15	30.7	30.7	133.7	719.2	870.9	65.42	0.05	0.340
16	32.7	32.7	149.0	570.2	1019.9	72.91	0.06	0.340
Avg. Shaft			63.7			31.19	0.03	0.340
Toe			570.2				6335.56	0.681

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	15.454
Case Damping Factor			0.398	0.445
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	917
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				14.384
Soil Plug Weight	(kN)			0.10
Soil Support Dashpot			1.500	10.000
Soil Support Weight	(kN)		12262.50	12262.50

CAPWAP match quality = 2.86 (Wave Up Match); RSA = 0
 Observed: final set = 6.000 mm; blow count = 167 b/m
 Computed: final set = 5.099 mm; blow count = 196 b/m
 max. Top Comp. Stress = 31.5 MPa (T= 21.2 ms, max= 1.000 x Top)
 max. Comp. Stress = 31.5 MPa (Z= 1.0 m, T= 21.2 ms)
 max. Tens. Stress = -1.16 MPa (Z= 28.6 m, T= 80.1 ms)
 max. Energy (EMX) = 40.11 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=21.81 mm

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPB4 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 14
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 14:46:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2832.9	-34.8	31.5	-0.39	40.11	3.2	21.571
2	2.0	2822.0	-40.9	31.4	-0.45	40.08	3.2	21.475
4	4.1	2823.2	-51.0	31.4	-0.57	39.97	3.2	21.209
6	6.1	2809.2	-56.3	31.2	-0.63	39.25	3.1	20.895
8	8.2	2754.5	-59.5	30.6	-0.66	38.17	3.0	20.600
10	10.2	2754.6	-63.2	30.6	-0.70	36.97	3.0	20.259
12	12.3	2688.4	-67.6	29.9	-0.75	35.76	2.9	19.917
14	14.3	2682.7	-73.2	29.8	-0.81	34.63	2.9	19.533
16	16.4	2671.0	-81.0	29.7	-0.90	33.65	2.9	19.118
18	18.4	2697.6	-88.5	30.0	-0.98	32.65	2.8	18.687
20	20.4	2693.8	-94.7	29.9	-1.05	31.22	2.7	18.219
22	22.5	2631.7	-98.5	29.2	-1.09	29.09	2.6	17.759
23	23.5	2503.5	-95.6	27.8	-1.06	26.52	2.5	17.541
24	24.5	2547.5	-100.4	28.3	-1.12	26.41	2.5	17.307
25	25.5	2387.9	-97.5	26.5	-1.08	23.74	2.4	17.079
26	26.6	2354.3	-102.4	26.2	-1.14	23.63	2.4	16.840
27	27.6	2199.6	-99.7	24.4	-1.11	21.02	2.6	16.628
28	28.6	2251.3	-104.4	25.0	-1.16	20.93	2.7	16.407
29	29.6	2074.1	-99.9	23.0	-1.11	18.10	2.6	16.199
30	30.7	2039.9	-102.3	22.7	-1.14	18.00	2.4	15.971
31	31.7	1528.5	-95.0	17.0	-1.06	14.74	2.6	15.762
32	32.7	1357.1	-96.0	15.1	-1.07	11.13	2.7	15.540
Absolute	1.0			31.5			(T =	21.2 ms)
	28.6				-1.16		(T =	80.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3161.0	2903.6	2646.1	2388.7	2131.2	1873.8	1616.4	1358.9	1101.5	844.0
RX	3161.0	2903.6	2646.1	2388.7	2131.2	1873.8	1616.4	1358.9	1101.5	844.0
RU	3175.0	2918.9	2662.9	2406.8	2150.8	1894.8	1638.7	1382.7	1126.6	870.6

RAU = 627.8 (kN); RA2 = 1040.7 (kN)

Current CAPWAP Ru = 1590.1 (kN); Corresponding J(RP)= 0.61; J(RX) = 0.61

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
3.32	20.98	2893.4	2842.0	2842.0	21.808	6.001	6.000	40.3	2896.7

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	900.00	36811.8	25.000	1200.000
32.70	900.00	36811.8	25.000	1200.000

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPB4 24h

Test: 03-Mar-2015 14:46:

Junttan HHK 5A; Blow: 14

CAPWAP(R) 2006-2

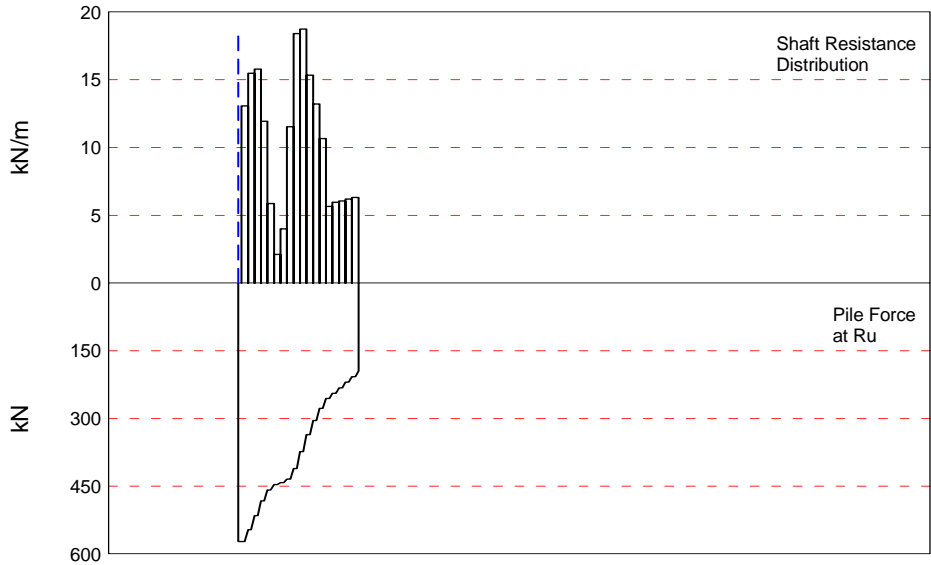
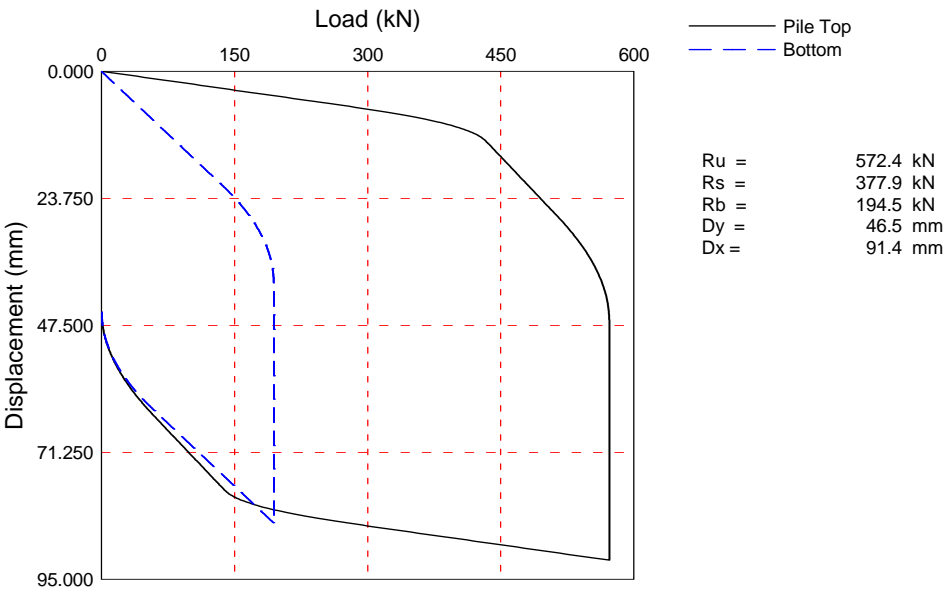
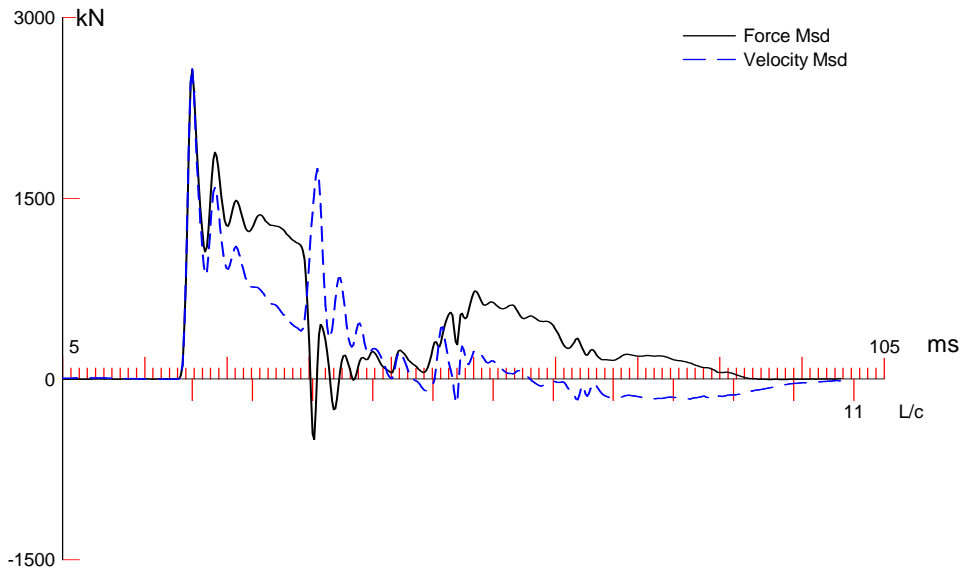
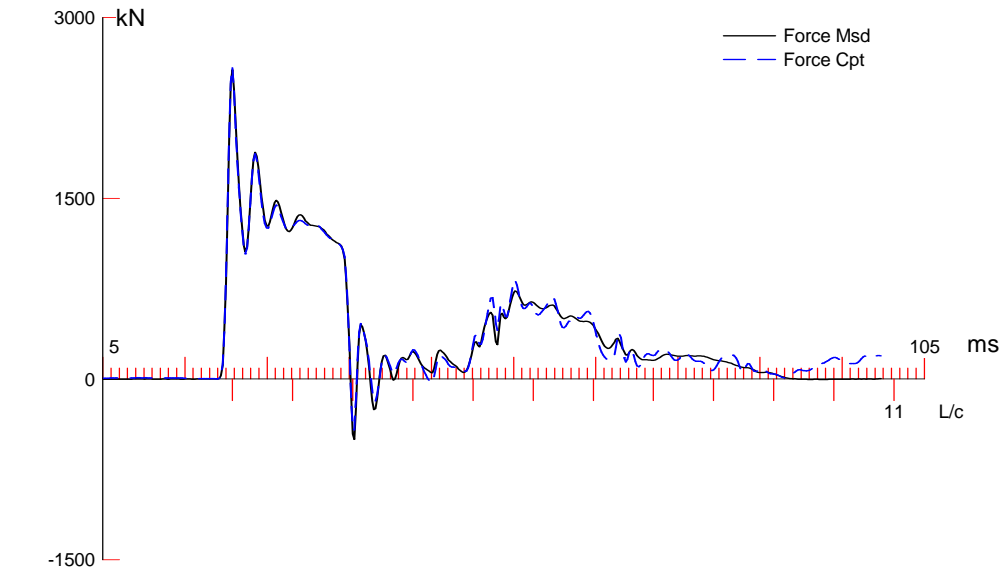
Inspecta

OP: TRe

Toe Area 0.090 m²

Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Compression Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	871.86	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.00
2	2.04	867.56	-0.49	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
3	3.07	866.76	-0.58	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
4	4.09	856.36	-1.78	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
5	5.11	854.86	-1.95	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
6	6.13	869.06	-0.32	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
7	7.15	870.66	-0.14	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
8	8.18	864.46	-0.85	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
9	9.20	857.66	-1.63	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
10	10.22	869.66	-0.25	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
11	11.24	887.96	1.85	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
12	12.26	887.06	1.74	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
13	13.28	848.66	-2.66	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
14	14.31	877.16	0.61	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
15	15.33	892.16	2.33	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
16	16.35	890.46	2.13	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
17	17.37	859.36	-1.43	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
18	18.39	873.96	0.24	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
19	19.42	882.66	1.24	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
20	20.44	881.66	1.12	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
21	21.46	886.56	1.69	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
22	22.48	887.16	1.75	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
23	23.50	889.46	2.02	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
24	24.52	891.56	2.26	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
25	25.55	896.56	2.83	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
26	26.57	894.56	2.60	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
27	27.59	894.66	2.62	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
28	28.61	891.16	2.21	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
29	29.63	891.76	2.28	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
30	30.66	885.86	1.61	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
31	31.68	877.06	0.60	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05
32	32.70	851.16	-2.37	0.000	0.000	-0.000	0.000	1200.000	0.05

Pile Damping 2.0 %, Time Incr 0.269 ms, Wave Speed 3800.0 m/s, 2L/c 17.2 ms



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT4 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 816
Inspecta

Test: 02-Mar-2015 12:09:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 572.4; along Shaft 377.9; at Toe 194.5 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				572.4				
1	3.0	2.5	26.5	545.9	26.5	10.43	10.25	0.531
2	5.1	4.6	31.4	514.5	57.9	15.49	15.22	0.531
3	7.1	6.6	32.0	482.5	89.9	15.79	15.51	0.531
4	9.1	8.6	24.2	458.3	114.1	11.94	11.73	0.531
5	11.1	10.6	11.9	446.4	126.0	5.87	5.77	0.531
6	13.2	12.7	4.3	442.1	130.3	2.12	2.08	0.531
7	15.2	14.7	8.1	434.0	138.4	4.00	3.93	0.531
8	17.2	16.7	23.4	410.6	161.8	11.54	11.34	0.531
9	19.3	18.8	37.3	373.3	199.1	18.40	18.08	0.531
10	21.3	20.8	38.0	335.3	237.1	18.75	18.42	0.531
11	23.3	22.8	31.1	304.2	268.2	15.34	15.08	0.531
12	25.3	24.8	26.8	277.4	295.0	13.22	12.99	0.531
13	27.4	26.9	21.6	255.8	316.6	10.66	10.47	0.531
14	29.4	28.9	11.5	244.3	328.1	5.67	5.58	0.531
15	31.4	30.9	12.1	232.2	340.2	5.97	5.87	0.531
16	33.4	32.9	12.3	219.9	352.5	6.07	5.96	0.531
17	35.5	35.0	12.6	207.3	365.1	6.22	6.11	0.531
18	37.5	37.0	12.8	194.5	377.9	6.31	6.21	0.531
Avg. Shaft			21.0			10.21	10.04	0.531
Toe			194.5				2360.52	0.058

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.222	30.437
Case Damping Factor			0.496	0.028
Unloading Quake	(% of loading quake)		33	135
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				9.960
Soil Plug Weight	(kN)			0.21
Soil Support Dashpot			0.000	4.550
Soil Support Weight	(kN)		0.00	10.31

CAPWAP match quality	=	1.41	(Force Match)	; RSA = 0
Observed: final set	=	45.000 mm;	blow count	= 22 b/m
Computed: final set	=	42.708 mm;	blow count	= 23 b/m
max. Top Comp. Stress	=	262.2 MPa	(T= 21.0 ms, max= 1.023 x Top)	
max. Comp. Stress	=	268.2 MPa	(Z= 3.0 m, T= 21.6 ms)	
max. Tens. Stress	=	-100.77 MPa	(Z= 33.4 m, T= 29.3 ms)	
max. Energy (EMX)	=	55.98 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=53.62 mm	

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT4 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 816
Inspecta

Test: 02-Mar-2015 12:09:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2585.4	-422.5	262.2	-42.84	55.98	6.4	53.374
2	2.0	2619.8	-308.8	265.7	-31.32	56.33	6.3	53.142
4	4.1	2573.1	-313.4	260.9	-31.78	53.04	6.1	52.860
6	6.1	2512.4	-358.6	254.8	-36.36	49.20	6.0	52.588
8	8.1	2441.5	-396.1	247.6	-40.16	45.26	5.9	52.220
10	10.1	2380.9	-395.7	241.4	-40.13	42.29	5.8	51.976
12	12.2	2348.9	-372.0	238.2	-37.72	40.81	5.8	51.835
14	14.2	2344.9	-372.2	237.8	-37.74	40.24	5.7	51.685
16	16.2	2347.2	-345.1	238.0	-34.99	39.19	5.7	51.448
18	18.2	2320.5	-417.5	235.3	-42.34	36.26	5.5	51.179
20	20.3	2256.8	-552.3	228.8	-56.00	31.61	5.4	50.912
22	22.3	2185.4	-564.3	221.6	-57.22	26.84	5.6	50.633
24	24.3	2129.5	-540.2	215.9	-54.78	22.86	6.0	50.431
26	26.4	2080.4	-759.8	211.0	-77.05	19.39	5.7	50.241
28	28.4	2035.1	-720.6	206.4	-73.07	16.55	6.2	50.072
30	30.4	2015.5	-384.4	204.4	-38.98	14.97	7.0	49.915
32	32.4	1994.4	-862.1	202.2	-87.42	13.28	6.3	49.729
33	33.4	2001.2	-993.7	202.9	-100.77	13.26	5.7	49.638
34	34.5	1930.4	-968.3	195.8	-98.19	11.59	6.1	49.566
35	35.5	1678.3	-708.3	170.2	-71.82	11.58	6.9	49.503
36	36.5	1125.3	-418.6	114.1	-42.45	9.79	8.1	49.437
37	37.5	349.6	-0.1	35.4	-0.01	7.74	8.9	49.354
Absolute	3.0			268.2			(T =	21.6 ms)
	33.4				-100.77		(T =	29.3 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	1828.5	1487.5	1146.5	805.5	464.5	123.5	0.0	0.0	0.0	0.0
RX	1828.5	1487.5	1146.5	805.5	638.6	561.3	518.1	505.6	496.8	495.7
RU	1828.5	1487.5	1146.5	805.5	464.5	123.5	0.0	0.0	0.0	0.0

RAU = 396.4 (kN); RA2 = 821.7 (kN)

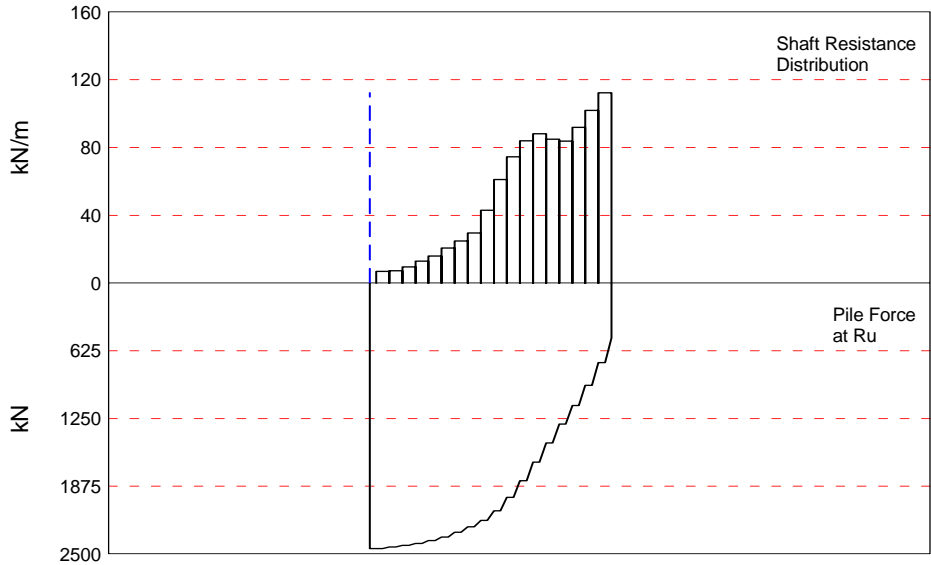
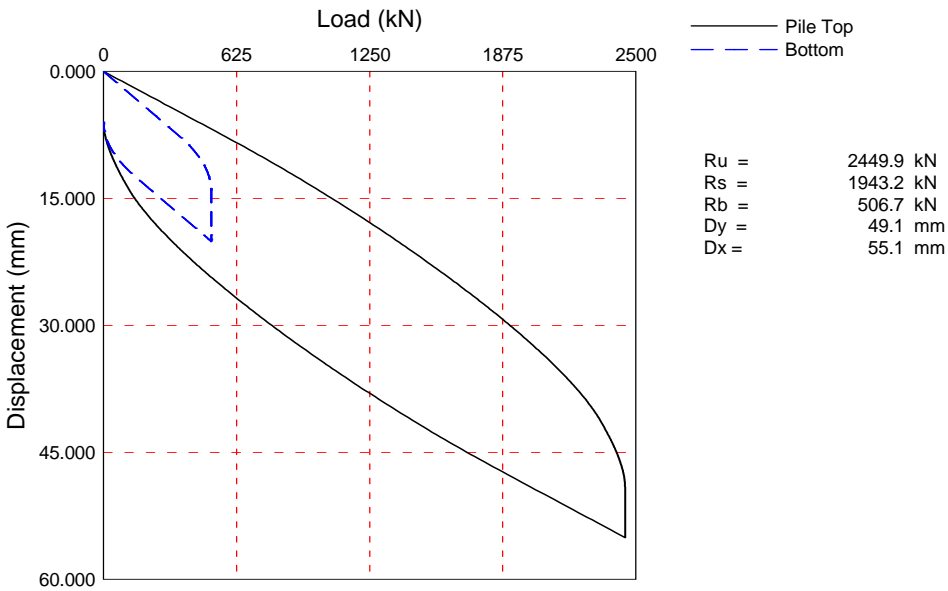
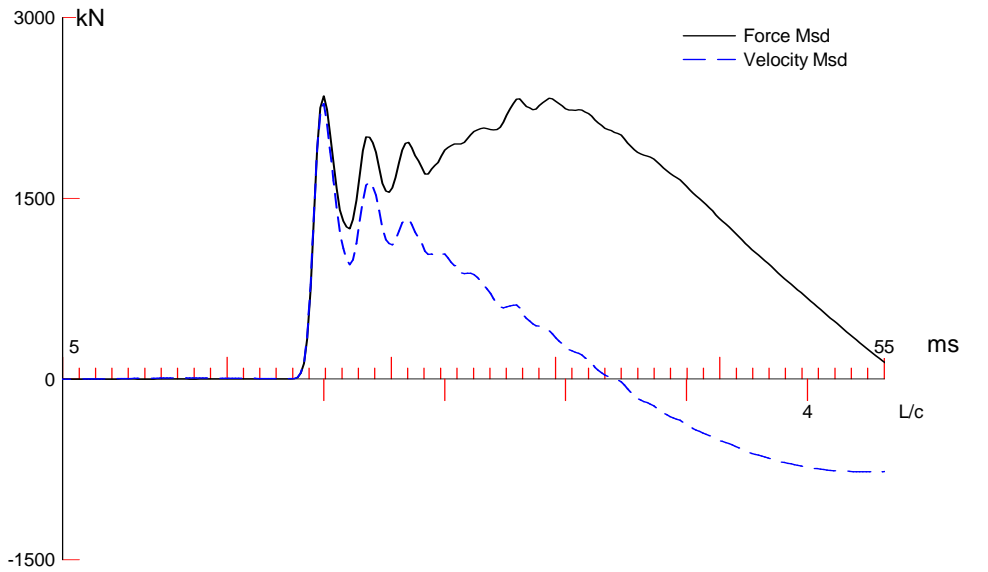
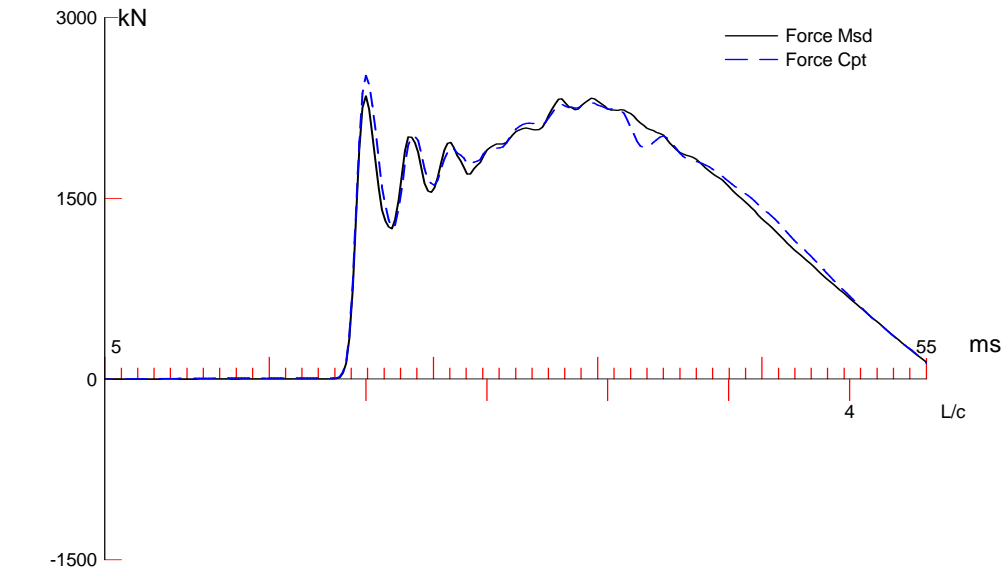
Current CAPWAP Ru = 572.4 (kN); Corresponding J(RP)= 0.37; J(RX) = 0.49

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.49	20.97	2624.6	2613.9	2613.9	53.616	44.372	45.000	56.9	1153.5

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT4 0h
Junttan HHK 5A; Blow: 816
Inspecta

Test: 02-Mar-2015 12:09:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
37.50	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.01 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.198 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	14.6 ms



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPT4 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 14
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 10:37:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity:			2449.9; along Shaft		1943.2; at Toe		506.7 kN		
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				2449.9					
1	3.1	3.1	14.3	2435.6	14.3	4.68	4.60	0.628	7.500
2	5.1	5.1	14.7	2420.9	29.0	7.21	7.09	0.628	7.501
3	7.1	7.1	19.4	2401.5	48.4	9.52	9.36	0.628	7.501
4	9.2	9.2	26.3	2375.2	74.7	12.91	12.68	0.628	7.501
5	11.2	11.2	32.6	2342.6	107.3	16.00	15.72	0.628	7.501
6	13.2	13.2	42.3	2300.3	149.6	20.76	20.40	0.628	7.501
7	15.3	15.3	50.6	2249.7	200.2	24.83	24.40	0.628	7.501
8	17.3	17.3	60.2	2189.5	260.4	29.54	29.03	0.628	7.501
9	19.4	19.4	87.7	2101.8	348.1	43.04	42.29	0.628	7.501
10	21.4	21.4	124.7	1977.1	472.8	61.19	60.14	0.628	7.501
11	23.4	23.4	151.9	1825.2	624.7	74.54	73.25	0.628	7.501
12	25.5	25.5	171.2	1654.0	795.9	84.01	82.56	0.628	7.501
13	27.5	27.5	179.4	1474.6	975.3	88.03	86.52	0.628	7.501
14	29.5	29.5	173.1	1301.5	1148.4	84.94	83.48	0.628	7.501
15	31.6	31.6	171.0	1130.5	1319.4	83.91	82.46	0.628	7.501
16	33.6	33.6	187.2	943.3	1506.6	91.86	90.28	0.628	7.501
17	35.7	35.7	207.6	735.7	1714.2	101.87	100.11	0.628	7.039
18	37.7	37.7	229.0	506.7	1943.2	112.37	110.43	0.628	5.845
Avg. Shaft			108.0			51.54	50.65	0.628	7.256
Toe			506.7				6149.49	0.093	10.862
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						3.020	0.116		
Unloading Quake			(% of loading quake)			34	58		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			0			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)							0.416		
Soil Plug Weight			(kN)				0.35		
Soil Support Dashpot						2.100	0.000		
Soil Support Weight			(kN)			10.37	0.00		
CAPWAP match quality			=	1.92	(Force Match)	; RSA = 0			
Observed: final set			=	6.000 mm;	blow count	=	167 b/m		
Computed: final set			=	4.977 mm;	blow count	=	201 b/m		
max. Top Comp. Stress			=	255.4 MPa	(T= 21.1 ms, max= 1.038 x Top)				
max. Comp. Stress			=	265.2 MPa	(Z= 3.1 m, T= 21.7 ms)				
max. Tens. Stress			=	-21.93 MPa	(Z= 17.3 m, T= 63.1 ms)				
max. Energy (EMX)			=	75.62 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=40.15 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZPT4 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 14
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 10:37:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2518.7	-181.4	255.4	-18.40	75.62	5.5	39.176
2	2.0	2602.9	-187.9	263.9	-19.05	75.02	5.4	38.201
4	4.1	2569.4	-188.0	260.5	-19.07	71.50	5.4	36.196
6	6.1	2522.6	-185.3	255.8	-18.79	67.99	5.2	34.167
8	8.2	2510.0	-179.6	254.5	-18.21	64.28	5.2	32.167
10	10.2	2458.5	-179.6	249.3	-18.21	60.15	5.0	30.142
12	12.2	2399.7	-193.7	243.3	-19.64	55.84	4.9	28.124
14	14.3	2344.8	-202.5	237.8	-20.53	51.28	4.7	26.147
16	16.3	2256.8	-205.1	228.8	-20.79	46.65	4.5	24.198
18	18.3	2182.3	-202.7	221.3	-20.56	42.05	4.3	22.303
20	20.4	2081.9	-186.6	211.1	-18.92	36.95	4.0	20.488
22	22.4	1922.6	-152.3	195.0	-15.44	31.48	3.6	18.787
24	24.5	1758.7	-106.7	178.3	-10.82	26.24	3.2	17.256
26	26.5	1590.2	-82.1	161.3	-8.32	21.48	2.9	15.890
28	28.5	1403.2	-64.0	142.3	-6.49	17.32	2.6	14.665
30	30.6	1248.0	-47.6	126.6	-4.82	13.89	2.3	13.573
32	32.6	1116.3	-36.8	113.2	-3.73	11.00	2.1	12.681
33	33.6	1164.0	-38.9	118.0	-3.94	10.83	1.9	12.290
34	34.6	1005.1	-37.7	101.9	-3.82	8.44	1.8	11.947
35	35.7	1027.4	-47.3	104.2	-4.80	8.32	1.7	11.610
36	36.7	719.9	-38.9	73.0	-3.95	5.97	2.2	11.317
37	37.7	713.8	-41.2	72.4	-4.17	3.20	2.4	11.024
Absolute	3.1			265.2			(T =	21.7 ms)
	17.3				-21.93		(T =	63.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3334.5	3198.9	3063.3	2927.7	2792.1	2656.5	2520.9	2385.3	2249.7	2114.1
RX	3334.5	3198.9	3063.3	2927.7	2792.1	2656.5	2520.9	2385.7	2250.7	2130.2
RU	3334.5	3198.9	3063.3	2927.7	2792.1	2656.5	2520.9	2385.3	2249.7	2114.1

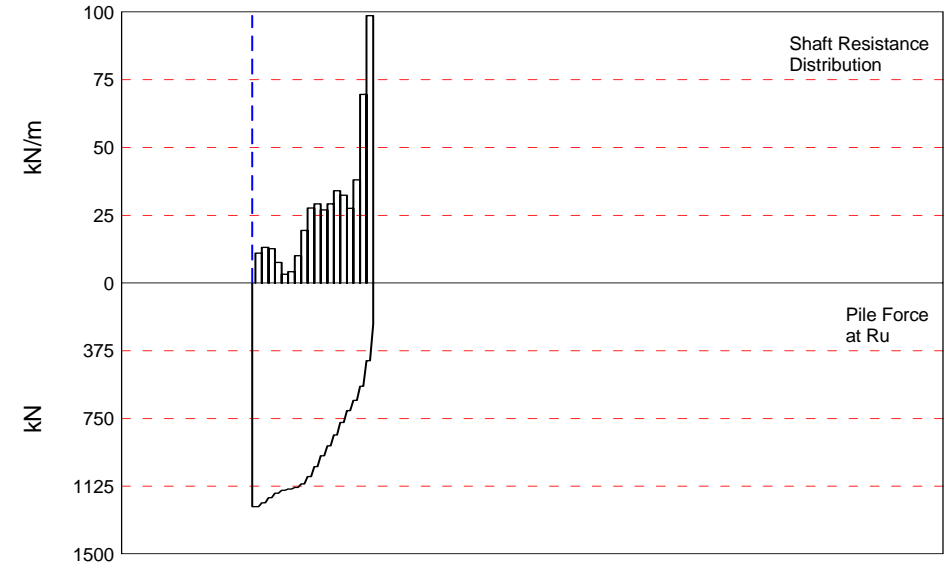
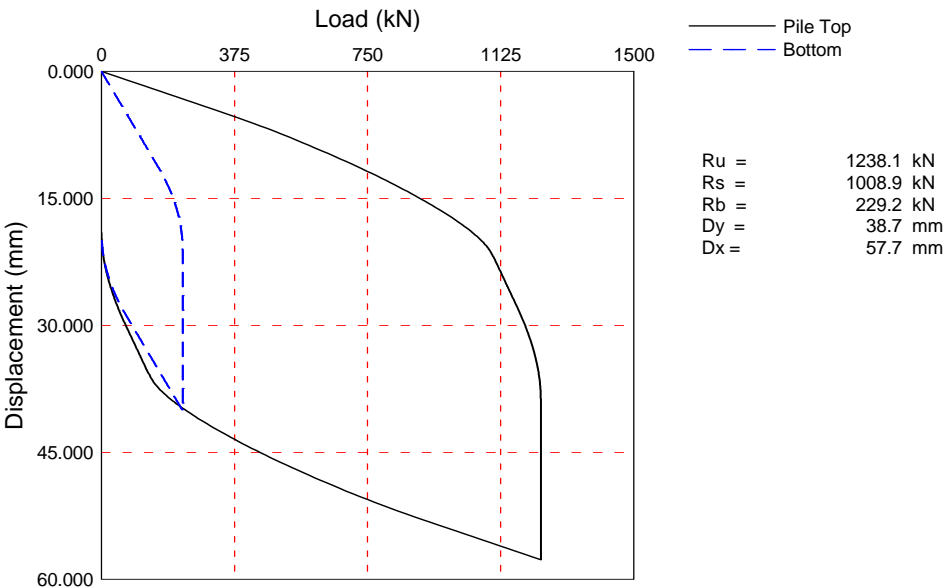
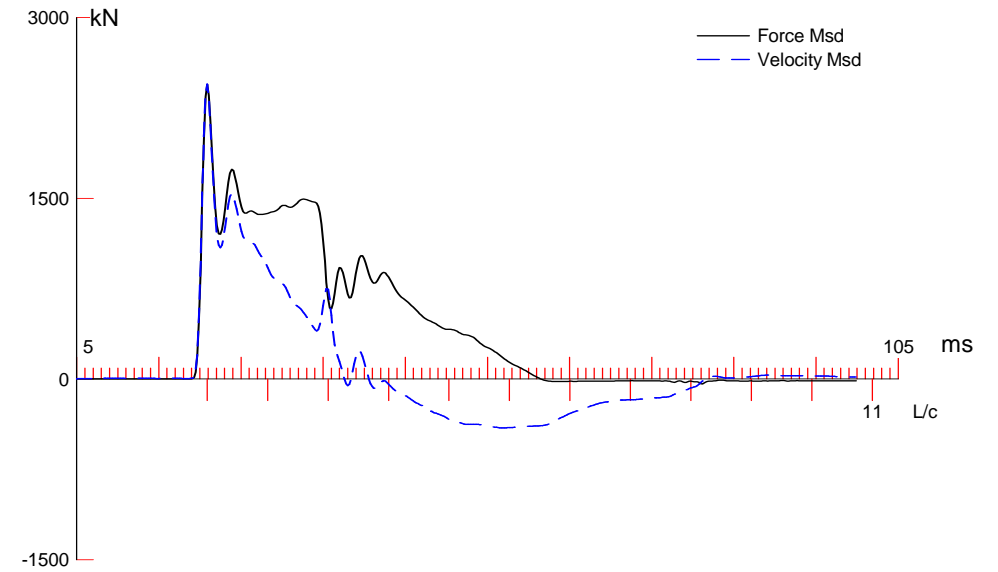
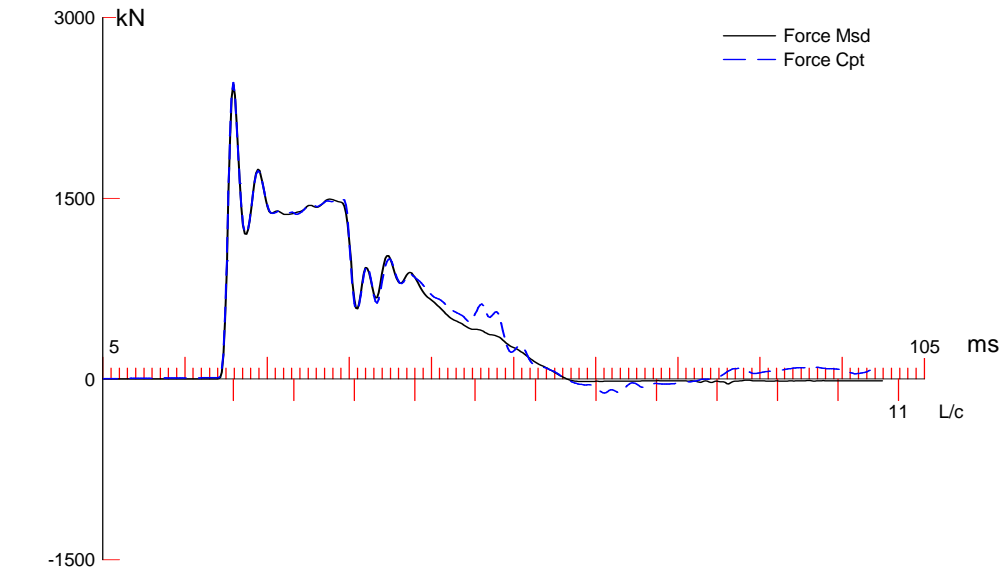
RAU = 208.3 (kN); RA2 = 2212.7 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2449.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.65; J(RX) = 0.65

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.75	21.09	2326.5	2364.0	2374.5	40.149	5.998	6.000	75.5	3272.7

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
37.70	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPT4 14 vrk					Test: 18-Mar-2015 10:37:				
Junttan HHK 7A; Blow: 14					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.14
37	37.70	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.14
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.199 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 14.7 ms		



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT4 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 14
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:48:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1238.1; along Shaft 1008.9; at Toe 229.2 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1238.1				
1	3.1	2.4	22.6	1215.5	22.6	9.59	9.42	0.324
2	5.1	4.4	26.9	1188.6	49.5	13.20	12.97	0.324
3	7.1	6.4	25.8	1162.8	75.3	12.66	12.44	0.324
4	9.2	8.5	15.5	1147.3	90.8	7.61	7.47	0.324
5	11.2	10.5	6.6	1140.7	97.4	3.24	3.18	0.324
6	13.2	12.5	8.5	1132.2	105.9	4.17	4.10	0.324
7	15.3	14.6	20.5	1111.7	126.4	10.06	9.89	0.324
8	17.3	16.6	39.5	1072.2	165.9	19.38	19.05	0.324
9	19.4	18.7	56.4	1015.8	222.3	27.68	27.20	0.324
10	21.4	20.7	59.6	956.2	281.9	29.25	28.74	0.324
11	23.4	22.7	55.0	901.2	336.9	26.99	26.52	0.324
12	25.5	24.8	59.6	841.6	396.5	29.25	28.74	0.324
13	27.5	26.8	69.5	772.1	466.0	34.10	33.52	0.324
14	29.5	28.8	66.1	706.0	532.1	32.44	31.88	0.324
15	31.6	30.9	56.3	649.7	588.4	27.63	27.15	0.324
16	33.6	32.9	77.7	572.0	666.1	38.13	37.47	0.324
17	35.7	35.0	141.8	430.2	807.9	69.58	68.38	0.324
18	37.7	37.0	201.0	229.2	1008.9	98.63	96.93	0.324
Avg. Shaft			56.1			27.27	26.80	0.324
Toe			229.2				2781.65	0.126

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		5.183	16.187
Case Damping Factor			0.808	0.071
Unloading Quake	(% of loading quake)		149	156
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake)	(mm)			8.959
Soil Plug Weight	(kN)			0.08
Soil Support Dashpot			0.800	10.000
Soil Support Weight	(kN)		10.37	10.37

CAPWAP match quality	=	1.61	(Force Match)	; RSA = 0
Observed: final set	=	19.000 mm;	blow count	= 53 b/m
Computed: final set	=	18.294 mm;	blow count	= 55 b/m
max. Top Comp. Stress	=	249.4 MPa	(T= 21.1 ms, max= 1.015 x Top)	
max. Comp. Stress	=	253.1 MPa	(Z= 3.1 m, T= 21.7 ms)	
max. Tens. Stress	=	-13.45 MPa	(Z= 5.1 m, T= 67.2 ms)	
max. Energy (EMX)	=	62.70 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=42.24 mm	

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT4 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 14
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:48:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2459.8	-116.4	249.4	-11.81	62.70	6.0	41.795
2	2.0	2480.1	-114.4	251.5	-11.60	62.82	6.0	41.361
4	4.1	2452.8	-127.6	248.7	-12.94	60.75	5.9	40.500
6	6.1	2414.5	-126.6	244.8	-12.84	58.44	5.8	39.652
8	8.2	2370.7	-113.1	240.4	-11.47	56.28	5.8	38.821
10	10.2	2341.9	-116.9	237.5	-11.85	54.88	5.7	38.023
12	12.2	2334.6	-127.1	236.7	-12.89	54.14	5.7	37.275
14	14.3	2333.5	-129.5	236.6	-13.13	53.29	5.7	36.524
16	16.3	2323.0	-118.7	235.6	-12.04	51.73	5.5	35.795
18	18.3	2287.4	-107.2	232.0	-10.87	49.13	5.4	35.099
20	20.4	2222.5	-104.8	225.4	-10.63	45.71	5.2	34.436
22	22.4	2151.6	-93.6	218.2	-9.49	42.25	5.1	33.835
24	24.5	2093.5	-74.5	212.3	-7.55	39.13	4.9	33.258
26	26.5	2035.3	-61.5	206.4	-6.24	35.83	4.8	32.624
28	28.5	1960.5	-51.2	198.8	-5.19	32.08	4.6	32.031
30	30.6	1889.3	-45.5	191.6	-4.62	28.69	4.5	31.649
32	32.6	1849.7	-46.0	187.6	-4.67	25.83	4.3	31.282
33	33.6	1892.9	-49.7	192.0	-5.04	25.78	4.2	31.069
34	34.6	1749.9	-43.8	177.4	-4.44	22.06	4.2	30.868
35	35.7	1595.9	-44.8	161.8	-4.55	22.03	5.0	30.687
36	36.7	1006.5	-30.2	102.1	-3.06	15.54	5.8	30.548
37	37.7	686.6	-32.9	69.6	-3.34	6.28	6.2	30.382
Absolute	3.1			253.1			(T =	21.7 ms)
	5.1				-13.45		(T =	67.2 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2416.7	2165.6	1914.5	1663.4	1412.3	1161.2	910.1	659.0	407.9	156.8
RX	2416.7	2165.6	1914.5	1663.4	1448.9	1317.8	1206.0	1122.9	1047.4	973.1
RU	2416.7	2165.6	1914.5	1663.4	1412.3	1161.2	910.1	659.0	407.9	156.8

RAU = 729.9 (kN); RA2 = 1481.0 (kN)

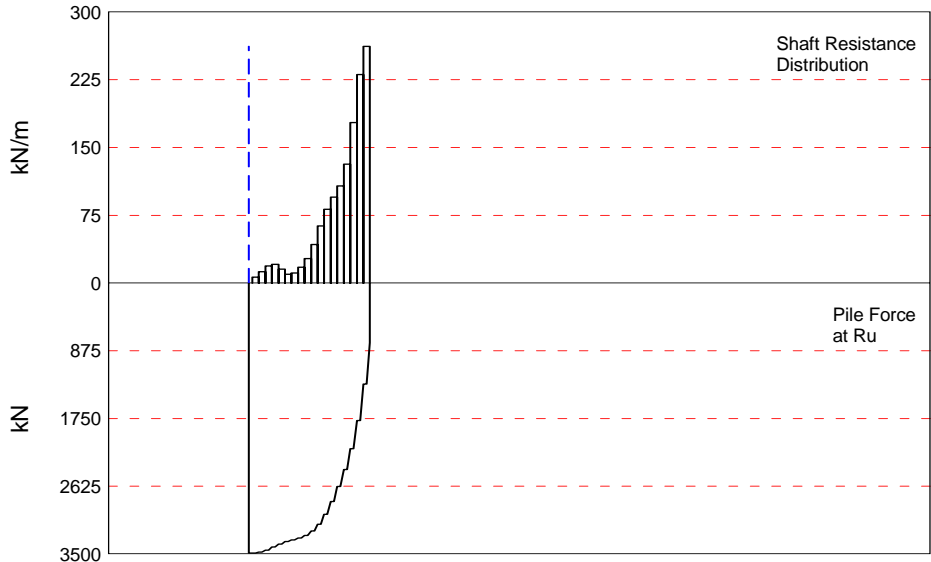
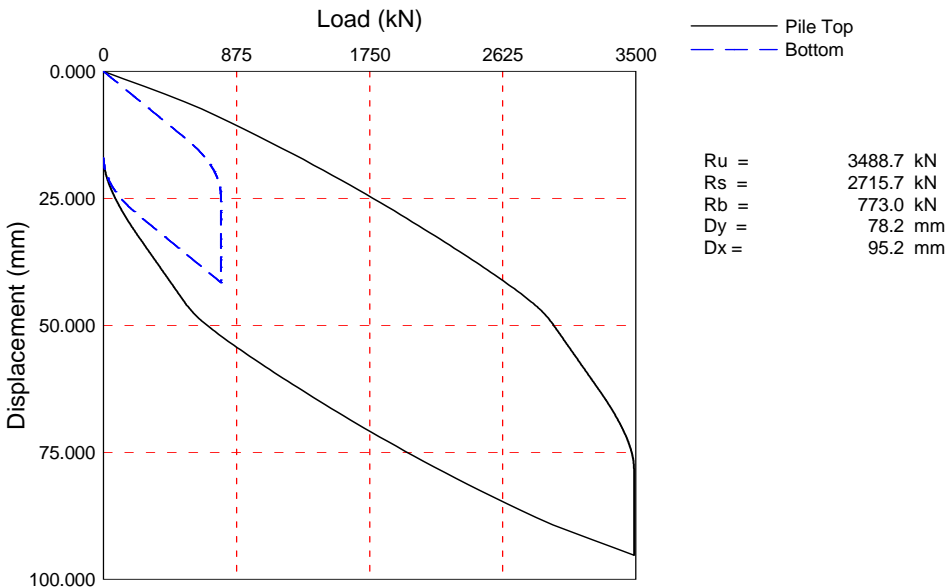
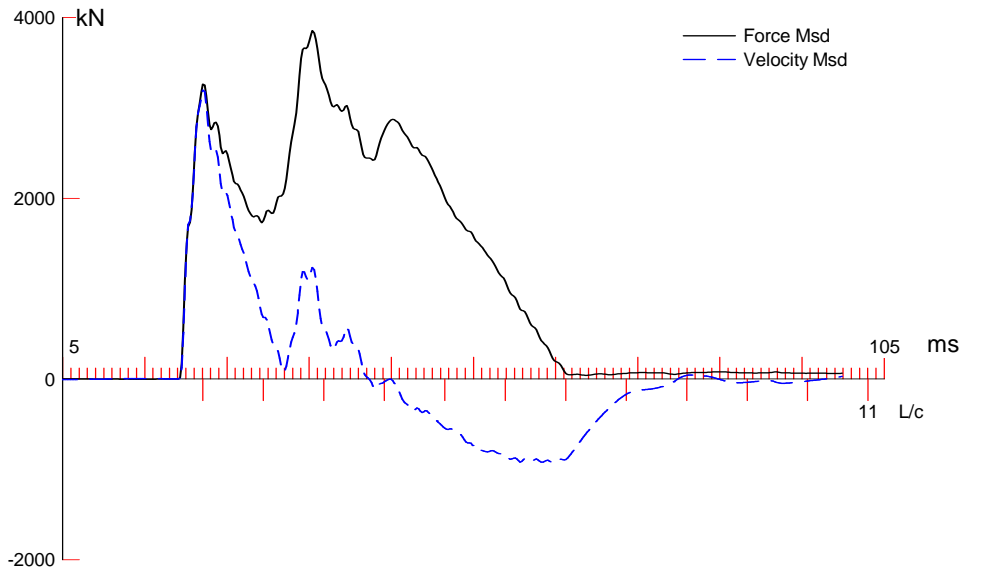
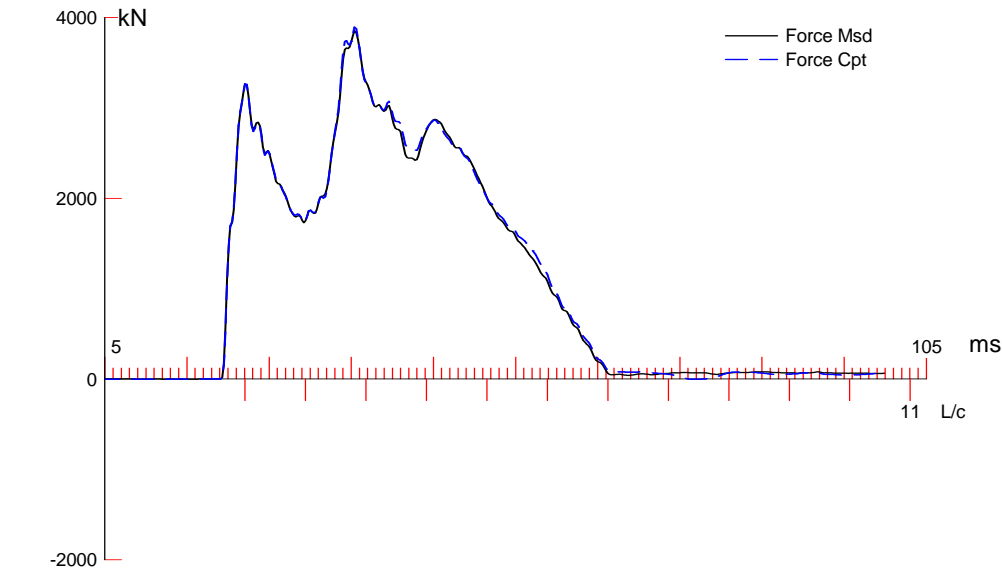
Current CAPWAP Ru = 1238.1 (kN); Corresponding J(RP)= 0.47; J(RX) = 0.57

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.10	21.09	2465.5	2462.2	2462.2	42.236	18.999	19.000	63.3	2066.0

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT4 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 14
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:48:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL					
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.	
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m	
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018	
37.70	98.61	210000.0	78.500	1.018	
Toe Area		0.082	m ²		
Top Segment Length		1.02 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s		
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.199 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	14.7 ms	



Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT4
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 37
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 14:45:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 3488.7; along Shaft 2715.7; at Toe 773.0 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				3488.7				
1	3.1	3.1	13.6	3475.1	13.6	4.45	4.37	0.344
2	5.1	5.1	25.4	3449.7	39.0	12.46	12.25	0.344
3	7.1	7.1	38.9	3410.8	77.9	19.09	18.76	0.344
4	9.2	9.2	42.1	3368.7	120.0	20.66	20.30	0.344
5	11.2	11.2	31.5	3337.2	151.5	15.46	15.19	0.344
6	13.2	13.2	20.0	3317.2	171.5	9.81	9.64	0.344
7	15.3	15.3	22.7	3294.5	194.2	11.14	10.95	0.344
8	17.3	17.3	36.1	3258.4	230.3	17.71	17.41	0.344
9	19.4	19.4	55.3	3203.1	285.6	27.14	26.67	0.344
10	21.4	21.4	87.3	3115.8	372.9	42.84	42.10	0.344
11	23.4	23.4	129.2	2986.6	502.1	63.40	62.31	0.344
12	25.5	25.5	166.4	2820.2	668.5	81.66	80.25	0.344
13	27.5	27.5	193.8	2626.4	862.3	95.10	93.46	0.344
14	29.5	29.5	219.1	2407.3	1081.4	107.52	105.66	0.344
15	31.6	31.6	268.0	2139.3	1349.4	131.51	129.24	0.344
16	33.6	33.6	362.2	1777.1	1711.6	177.74	174.67	0.344
17	35.7	35.7	470.1	1307.0	2181.7	230.69	226.70	0.344
18	37.7	37.7	534.0	773.0	2715.7	262.04	257.52	0.344
Avg. Shaft			150.9		72.03		70.79	0.344
Toe			773.0				9381.81	0.081
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			4.226	18.902		
Case Damping Factor					2.311	0.155		
Unloading Quake		(% of loading quake)			30	92		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			13			
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)					7.440			
Soil Support Dashpot					4.500	0.000		
Soil Support Weight		(kN)			10.37	0.00		
CAPWAP match quality		=	1.59	(Wave Up Match) ; RSA = 0				
Observed: final set		=	17.000 mm;	blow count	=	59 b/m		
Computed: final set		=	11.551 mm;	blow count	=	87 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	395.1 MPa	(T= 35.8 ms, max= 1.001 x Top)				
max. Comp. Stress		=	395.3 MPa	(Z= 3.1 m, T= 36.2 ms)				
max. Tens. Stress		=	-21.84 MPa	(Z= 21.4 m, T= 71.0 ms)				
max. Energy (EMX)		=	162.24 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=62.73 mm				

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT4
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 37
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 14:45:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3896.5	-6.5	395.1	-0.66	162.24	7.9	60.772
2	2.0	3895.0	-9.2	395.0	-0.94	160.47	7.8	59.448
4	4.1	3864.8	-10.8	391.9	-1.10	154.87	7.6	56.762
6	6.1	3810.1	-39.4	386.4	-3.99	147.71	7.5	54.037
8	8.2	3688.4	-59.5	374.0	-6.03	138.93	7.3	51.276
10	10.2	3602.2	-79.2	365.3	-8.04	129.98	7.2	48.507
12	12.2	3543.0	-104.9	359.3	-10.64	122.46	7.1	45.700
14	14.3	3530.1	-135.1	358.0	-13.70	116.31	7.0	42.865
16	16.3	3523.7	-165.1	357.3	-16.74	110.01	6.7	40.011
18	18.3	3506.1	-186.5	355.5	-18.91	102.77	6.4	37.149
20	20.4	3451.8	-199.5	350.0	-20.23	94.61	6.0	34.328
22	22.4	3355.0	-189.5	340.2	-19.22	85.89	5.5	31.885
24	24.5	3214.3	-160.1	325.9	-16.24	75.83	5.0	29.528
26	26.5	3010.6	-106.4	305.3	-10.79	65.33	4.4	27.268
28	28.5	2803.0	-46.4	284.2	-4.70	55.30	3.8	25.159
30	30.6	2557.6	-1.0	259.4	-0.10	46.05	3.2	23.273
32	32.6	2266.7	-0.7	229.9	-0.08	37.16	2.9	21.720
33	33.6	2266.7	-0.8	229.9	-0.08	36.67	2.7	21.027
34	34.6	1806.6	-0.6	183.2	-0.06	27.63	2.5	20.474
35	35.7	1825.6	-0.6	185.1	-0.06	27.34	2.4	19.936
36	36.7	1271.2	-0.4	128.9	-0.04	17.46	2.3	19.473
37	37.7	1283.5	-0.4	130.2	-0.04	5.96	2.2	19.029
Absolute	3.1			395.3			(T =	36.2 ms)
	21.4				-21.84		(T =	71.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3178.2	3122.5	3066.8	3011.1	2955.4	2899.7	2844.0	2788.3	2732.6	2676.9
RX	4618.3	4429.9	4241.4	4053.0	3864.6	3676.1	3487.7	3299.3	3110.8	2939.9
RU	3178.2	3122.5	3066.8	3011.1	2955.4	2899.7	2844.0	2788.3	2732.6	2676.9

RAU = 2665.7 (kN); RA2 = 2971.5 (kN)

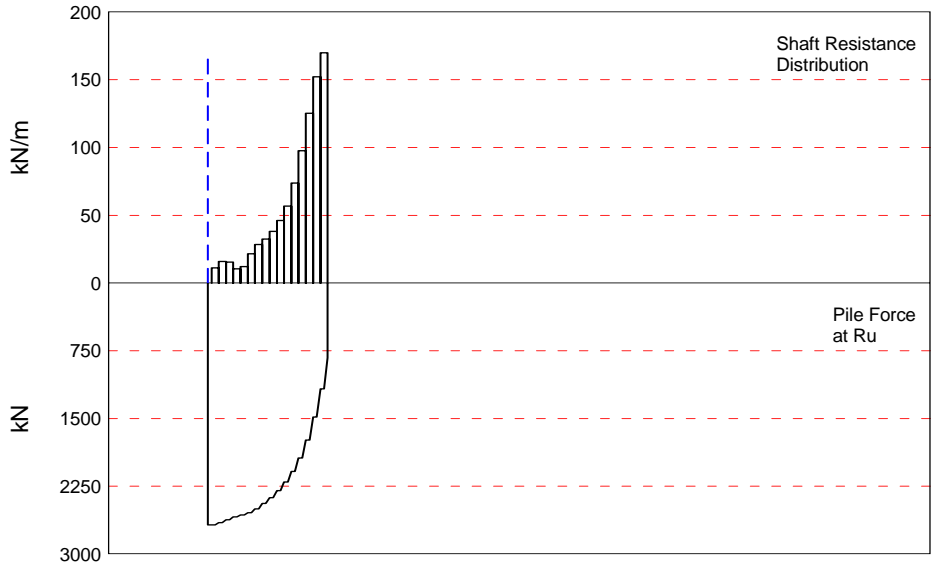
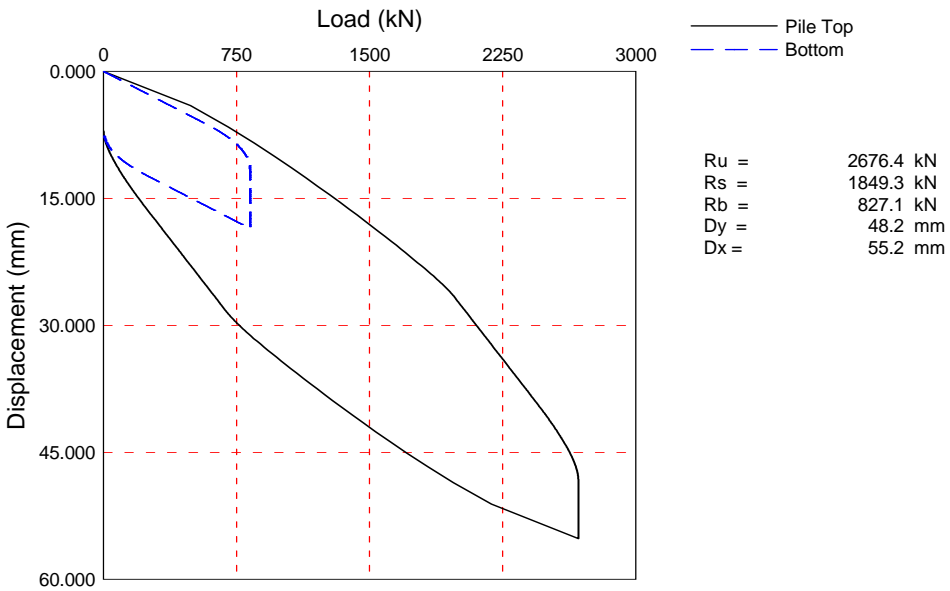
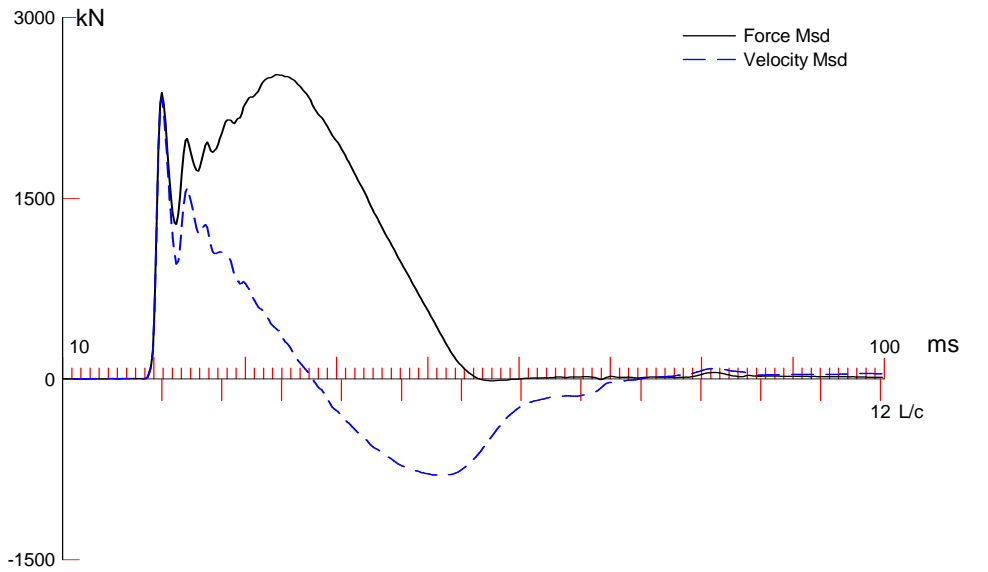
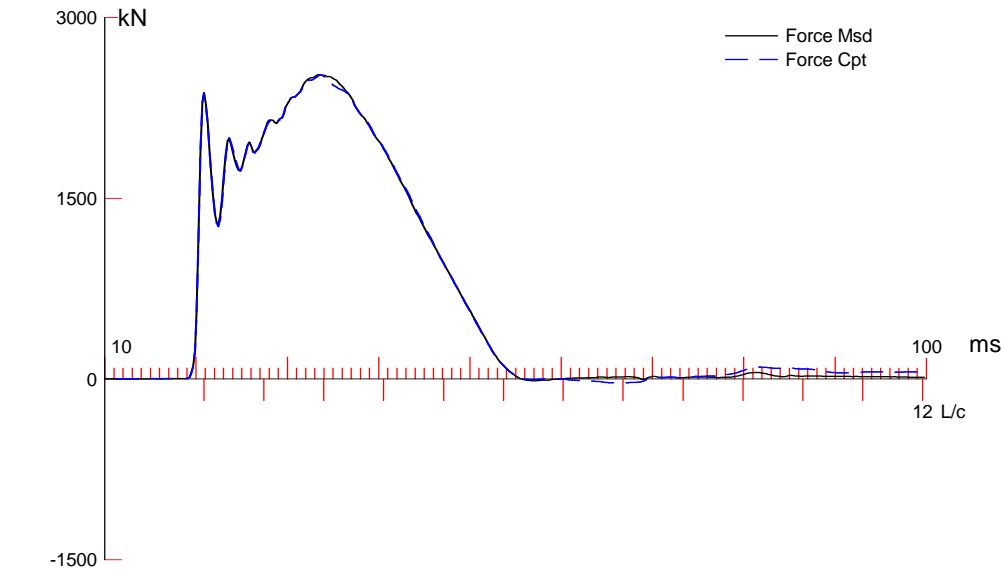
Current CAPWAP Ru = 3488.7 (kN); Corresponding J(RP)= 0.00; J(RX) = 0.60

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.97	22.28	1865.8	1869.5	3861.5	62.734	17.001	17.000	166.0	4163.4

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT4
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 37
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 14:45:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
37.70	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.02 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping		1.0 %, Time Incr 0.199 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	14.7 ms



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPT5 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 10
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 10:08:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 2676.4; along Shaft 1849.3; at Toe 827.1 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2676.4				
1	3.1	3.1	22.8	2653.6	22.8	7.46	7.34	0.870
2	5.1	5.1	32.4	2621.2	55.2	15.91	15.64	0.870
3	7.1	7.1	31.6	2589.6	86.8	15.52	15.25	0.870
4	9.2	9.2	21.4	2568.2	108.2	10.51	10.33	0.870
5	11.2	11.2	25.0	2543.2	133.2	12.28	12.06	0.870
6	13.2	13.2	43.8	2499.4	177.0	21.51	21.14	0.870
7	15.3	15.3	58.1	2441.3	235.1	28.53	28.04	0.870
8	17.3	17.3	66.1	2375.2	301.2	32.46	31.90	0.870
9	19.3	19.3	77.9	2297.3	379.1	38.25	37.59	0.870
10	21.4	21.4	93.9	2203.4	473.0	46.11	45.32	0.870
11	23.4	23.4	115.8	2087.6	588.8	56.87	55.88	0.870
12	25.5	25.5	150.4	1937.2	739.2	73.86	72.58	0.870
13	27.5	27.5	198.9	1738.3	938.1	97.67	95.99	0.870
14	29.5	29.5	255.3	1483.0	1193.4	125.37	123.21	0.870
15	31.6	31.6	309.9	1173.1	1503.3	152.18	149.56	0.870
16	33.6	33.6	346.0	827.1	1849.3	169.91	166.98	0.870
Avg. Shaft			115.6			55.04	54.09	0.870
Toe			827.1				10037.97	0.019

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	8.897
Case Damping Factor			3.979	0.039
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	51
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				0.390
Soil Plug Weight	(kN)			2.36
Soil Support Dashpot			3.155	0.000
Soil Support Weight	(kN)		10.36	0.00

CAPWAP match quality = 1.21 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 7.000 mm; blow count = 143 b/m
Computed: final set = 5.478 mm; blow count = 183 b/m
max. Top Comp. Stress = 258.2 MPa (T= 33.8 ms, max= 1.010 x Top)
max. Comp. Stress = 260.7 MPa (Z= 3.1 m, T= 33.2 ms)
max. Tens. Stress = -11.72 MPa (Z= 13.2 m, T= 58.8 ms)
max. Energy (EMX) = 74.99 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=37.86 mm

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZPT5 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 10
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 10:08:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2545.9	-37.1	258.2	-3.76	74.99	5.7	37.107
2	2.0	2551.6	-44.3	258.7	-4.50	73.70	5.6	35.979
4	4.1	2546.5	-60.7	258.2	-6.16	68.47	5.4	33.724
6	6.1	2493.9	-67.9	252.9	-6.88	62.57	5.2	31.488
8	8.1	2476.0	-76.6	251.1	-7.76	57.15	5.0	29.283
10	10.2	2467.7	-93.0	250.2	-9.43	52.93	4.9	27.098
12	12.2	2437.4	-103.0	247.2	-10.45	48.73	4.6	24.945
14	14.3	2369.3	-95.7	240.3	-9.70	43.72	4.3	22.839
16	16.3	2299.1	-78.7	233.1	-7.98	38.50	4.0	20.789
18	18.3	2209.5	-60.2	224.1	-6.10	33.58	3.6	18.818
20	20.4	2109.6	-38.4	213.9	-3.89	28.96	3.3	16.967
22	22.4	1992.9	-17.2	202.1	-1.75	24.66	2.8	15.261
24	24.4	1852.8	-12.9	187.9	-1.30	20.67	2.4	13.725
25	25.5	1858.7	-14.2	188.5	-1.44	20.15	2.2	13.013
26	26.5	1682.4	-7.1	170.6	-0.72	16.90	1.9	12.372
27	27.5	1687.1	-8.4	171.1	-0.85	16.54	1.7	11.773
28	28.5	1476.6	-2.2	149.7	-0.23	13.33	1.5	11.224
29	29.5	1481.9	-2.2	150.3	-0.23	13.05	1.3	10.706
30	30.5	1242.8	-1.6	126.0	-0.16	9.97	1.1	10.232
31	31.6	1249.2	-1.6	126.7	-0.16	9.76	0.9	9.775
32	32.6	1004.1	-0.9	101.8	-0.09	6.91	0.8	9.344
33	33.6	1010.3	-0.9	102.4	-0.09	3.62	0.9	8.922
Absolute	3.1			260.7			(T =	33.2 ms)
	13.2				-11.72		(T =	58.8 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3460.3	3330.0	3199.8	3069.5	2939.2	2808.9	2678.6	2548.4	2418.1	2287.8
RX	3460.3	3330.0	3199.8	3069.5	2939.5	2811.7	2684.0	2556.2	2428.5	2364.1
RU	3460.3	3330.0	3199.8	3069.5	2939.2	2808.9	2678.6	2548.4	2418.1	2287.8

RAU = 2259.3 (kN); RA2 = 2436.8 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2676.4 (kN); Corresponding J(RP)= 0.60; J(RX) = 0.61

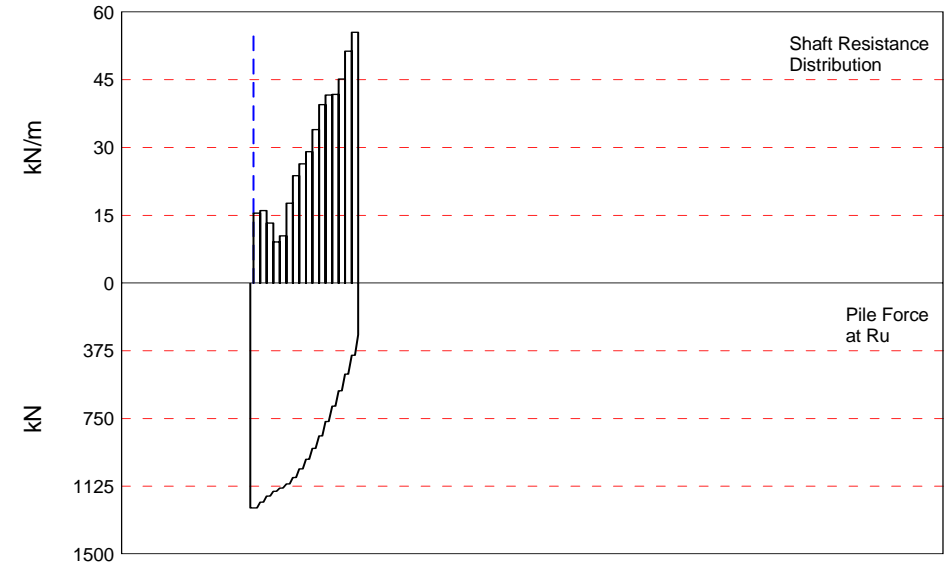
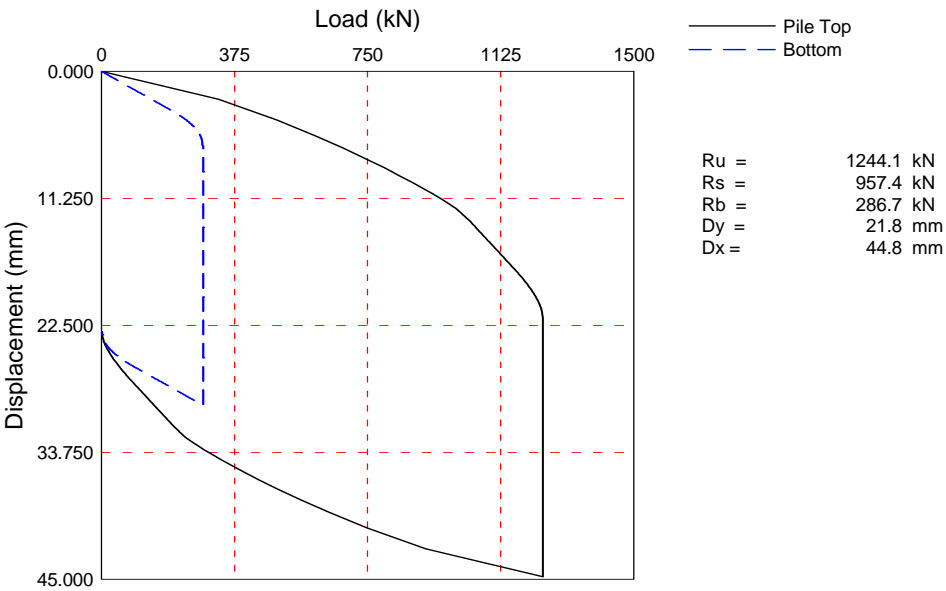
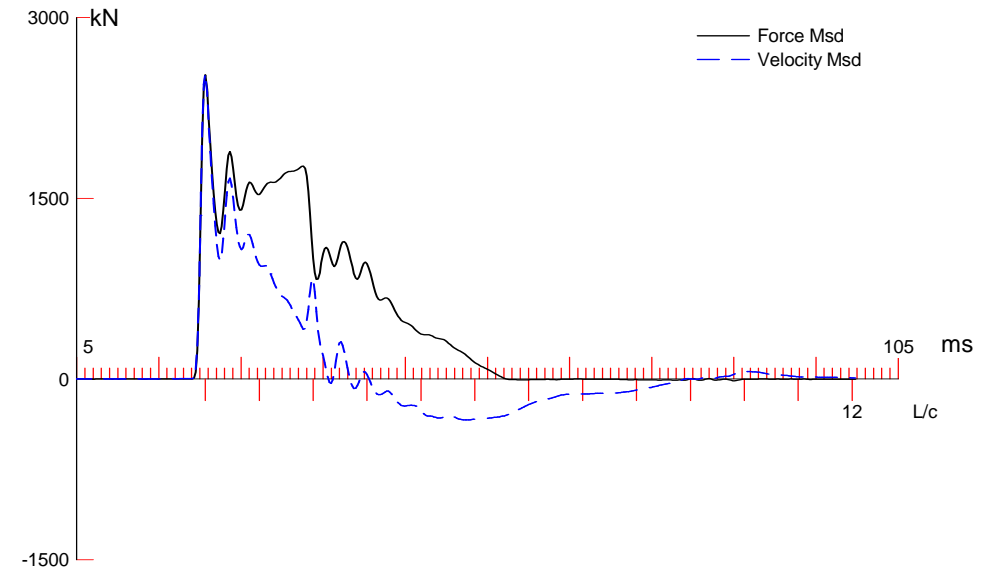
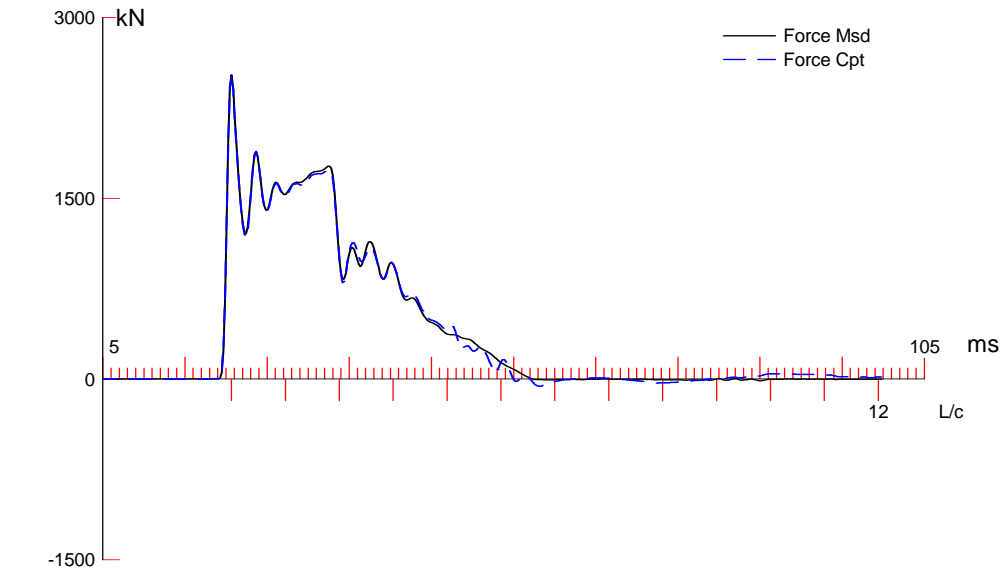
VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.85	21.07	2364.7	2398.5	2529.7	37.860	6.998	7.000	75.8	3378.8

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
33.60	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPT5 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 10
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 10:08:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
3	3.05	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
33	33.60	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.199 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		13.1 ms	



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT5 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 16
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 1244.1; along Shaft 957.4; at Toe 286.7 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				1244.1				
1	3.1	1.5	31.5	1212.6	31.5	21.66	21.28	0.335
2	5.1	3.5	32.7	1179.9	64.2	16.06	15.78	0.335
3	7.1	5.5	27.1	1152.8	91.3	13.31	13.08	0.335
4	9.2	7.6	18.5	1134.3	109.8	9.08	8.93	0.335
5	11.2	9.6	21.3	1113.0	131.1	10.46	10.28	0.335
6	13.2	11.6	36.0	1077.0	167.1	17.68	17.37	0.335
7	15.3	13.7	48.4	1028.6	215.5	23.77	23.36	0.335
8	17.3	15.7	53.7	974.9	269.2	26.37	25.92	0.335
9	19.3	17.7	59.2	915.7	328.4	29.07	28.57	0.335
10	21.4	19.8	69.2	846.5	397.6	33.98	33.40	0.335
11	23.4	21.8	80.4	766.1	478.0	39.48	38.80	0.335
12	25.5	23.9	84.8	681.3	562.8	41.64	40.92	0.335
13	27.5	25.9	85.1	596.2	647.9	41.79	41.07	0.335
14	29.5	27.9	91.9	504.3	739.8	45.13	44.35	0.335
15	31.6	30.0	104.5	399.8	844.3	51.32	50.43	0.335
16	33.6	32.0	113.1	286.7	957.4	55.54	54.58	0.335
Avg. Shaft			59.8			29.92	29.40	0.335
Toe			286.7				3479.49	0.081

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		1.004	5.041
Case Damping Factor			0.793	0.057
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	107
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Soil Plug Weight	(kN)			0.29
Soil Support Dashpot			1.798	5.276
Soil Support Weight	(kN)		10.36	10.36

CAPWAP match quality = 1.80 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 23.000 mm; blow count = 43 b/m
Computed: final set = 27.786 mm; blow count = 36 b/m
max. Top Comp. Stress = 257.3 MPa (T= 21.1 ms, max= 1.018 x Top)
max. Comp. Stress = 261.9 MPa (Z= 3.1 m, T= 21.5 ms)
max. Tens. Stress = -7.33 MPa (Z= 3.1 m, T= 58.0 ms)
max. Energy (EMX) = 64.80 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=39.38 mm

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT5 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 16
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2537.1	-66.4	257.3	-6.73	64.80	6.2	39.248
2	2.0	2564.5	-71.6	260.0	-7.26	64.60	6.2	38.822
4	4.1	2514.9	-64.0	255.0	-6.49	61.91	6.0	37.994
6	6.1	2456.5	-48.6	249.1	-4.93	59.23	5.9	37.177
8	8.1	2404.2	-46.1	243.8	-4.68	57.04	5.8	36.407
10	10.2	2377.6	-44.1	241.1	-4.47	55.51	5.8	35.677
12	12.2	2359.1	-42.7	239.2	-4.33	53.86	5.6	34.965
14	14.3	2316.6	-46.1	234.9	-4.68	51.37	5.5	34.288
16	16.3	2249.8	-42.4	228.1	-4.30	48.25	5.3	33.628
18	18.3	2177.4	-39.5	220.8	-4.01	44.89	5.1	32.904
20	20.4	2102.7	-36.9	213.2	-3.74	41.40	4.9	32.292
22	22.4	2017.5	-33.2	204.6	-3.37	37.55	4.6	31.770
24	24.4	1915.5	-29.0	194.2	-2.94	33.29	4.4	31.360
25	25.5	1963.3	-28.6	199.1	-2.90	33.23	4.3	31.136
26	26.5	1808.5	-24.3	183.4	-2.47	28.86	4.2	30.918
27	27.5	1856.6	-24.5	188.3	-2.49	28.79	4.0	30.669
28	28.5	1709.1	-20.3	173.3	-2.06	24.49	3.9	30.432
29	29.5	1761.1	-20.3	178.6	-2.06	24.46	3.8	30.286
30	30.5	1599.3	-39.3	162.2	-3.99	20.03	3.7	30.153
31	31.6	1514.5	-19.0	153.6	-1.92	20.01	4.3	30.007
32	32.6	983.8	-13.2	99.8	-1.34	14.96	5.1	29.876
33	33.6	637.3	-16.4	64.6	-1.66	9.36	5.4	29.720
Absolute	3.1			261.9			(T =	21.5 ms)
	3.1				-7.33		(T =	58.0 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2667.2	2422.7	2178.2	1933.7	1689.2	1444.7	1200.2	955.7	711.1	466.6
RX	2667.2	2422.7	2178.2	1933.7	1689.2	1487.3	1362.7	1266.4	1191.2	1132.1
RU	2667.2	2422.7	2178.2	1933.7	1689.2	1444.7	1200.2	955.7	711.1	466.6

RAU = 297.1 (kN); RA2 = 1608.7 (kN)

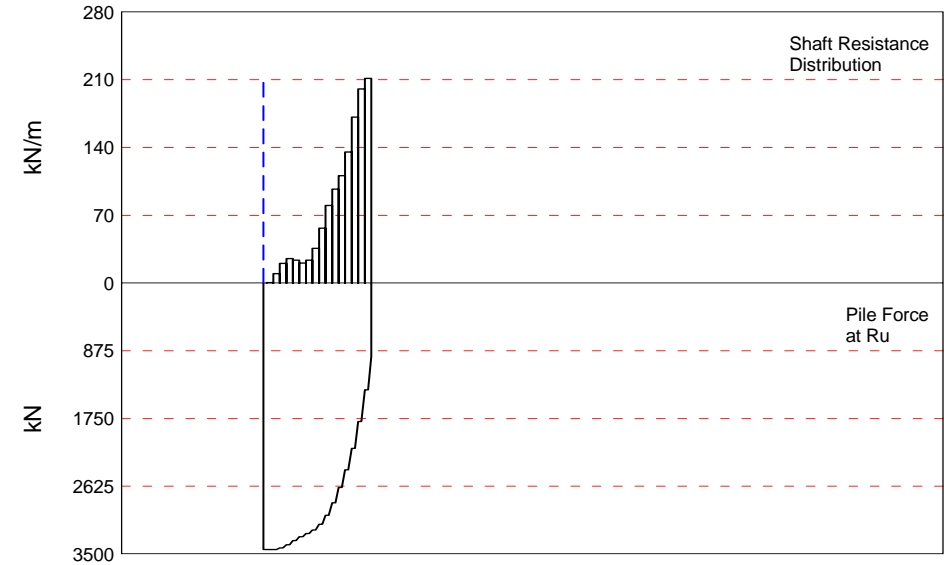
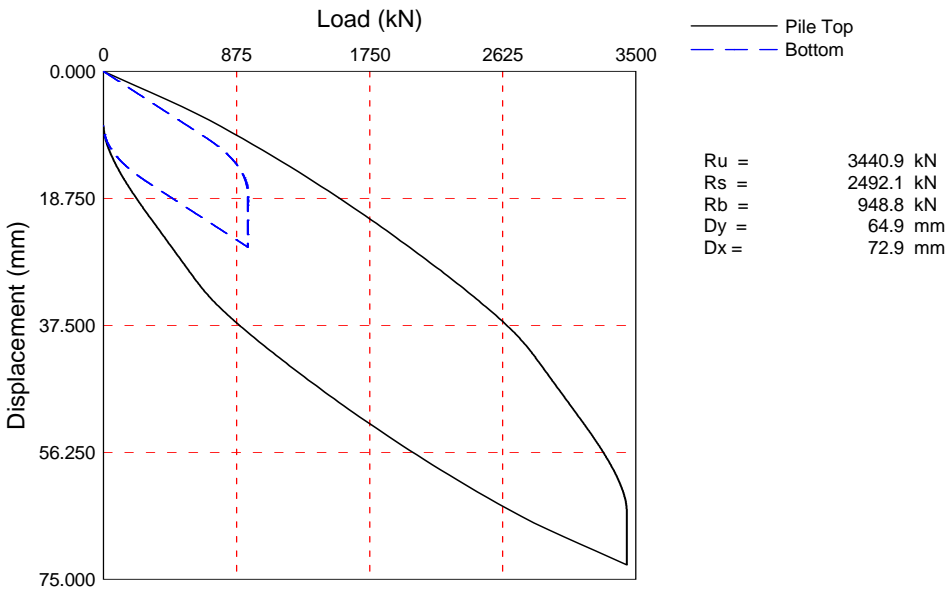
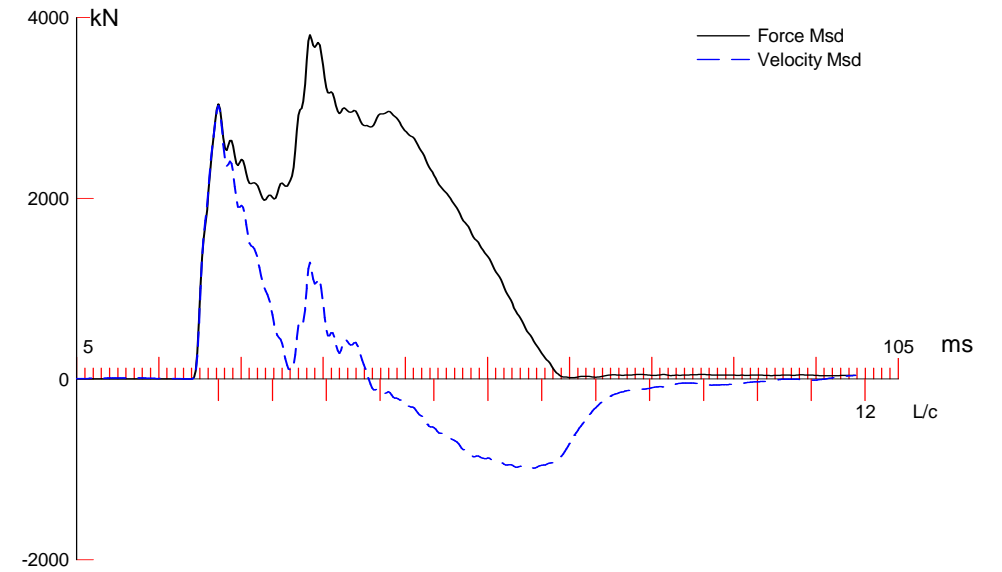
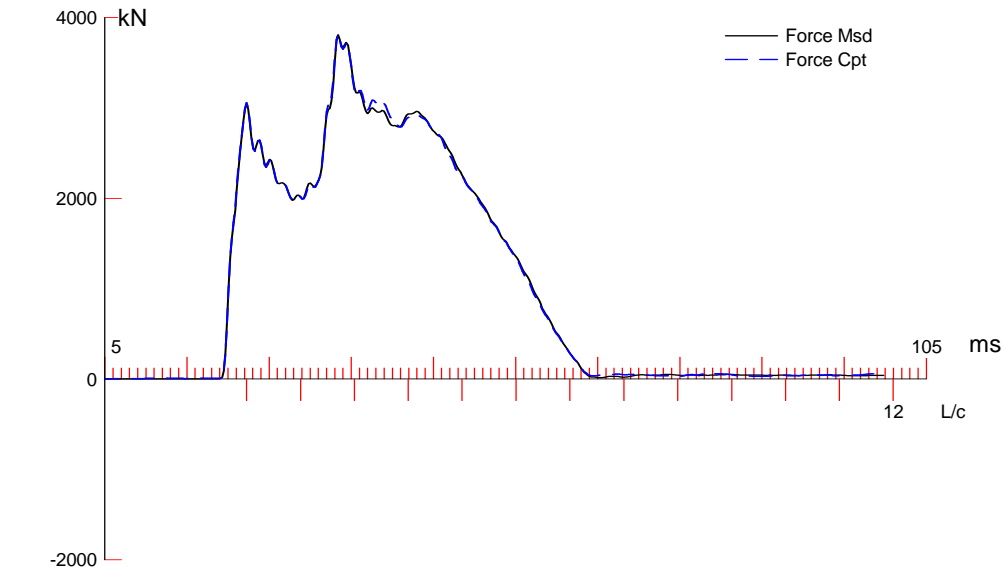
Current CAPWAP Ru = 1244.1 (kN); Corresponding J(RP)= 0.58; J(RX) = 0.73

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.34	20.87	2563.0	2549.3	2549.3	39.378	23.031	23.000	64.9	2080.6

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT5 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 16
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:33:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
33.60	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.02 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.199 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	13.1 ms



Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT5
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 8
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 14:16:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 3440.9; along Shaft 2492.1; at Toe 948.8 kN

Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				3440.9				
1	3.1	3.1	0.9	3440.0	0.9	0.29	0.29	0.379
2	5.1	5.1	20.0	3420.0	20.9	9.82	9.65	0.379
3	7.1	7.1	41.7	3378.3	62.6	20.48	20.12	0.379
4	9.2	9.2	51.8	3326.5	114.4	25.44	25.00	0.379
5	11.2	11.2	48.4	3278.1	162.8	23.77	23.36	0.379
6	13.2	13.2	42.4	3235.7	205.2	20.82	20.46	0.379
7	15.3	15.3	48.1	3187.6	253.3	23.62	23.21	0.379
8	17.3	17.3	72.8	3114.8	326.1	35.75	35.13	0.379
9	19.3	19.3	115.4	2999.4	441.5	56.67	55.69	0.379
10	21.4	21.4	163.0	2836.4	604.5	80.04	78.66	0.379
11	23.4	23.4	197.7	2638.7	802.2	97.08	95.41	0.379
12	25.5	25.5	225.9	2412.8	1028.1	110.93	109.02	0.379
13	27.5	27.5	275.9	2136.9	1304.0	135.49	133.15	0.379
14	29.5	29.5	349.3	1787.6	1653.3	171.53	168.57	0.379
15	31.6	31.6	408.1	1379.5	2061.4	200.41	196.95	0.379
16	33.6	33.6	430.7	948.8	2492.1	211.50	207.85	0.379
Avg. Shaft			155.8			74.17	72.89	0.379
Toe			948.8				11514.97	0.084

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		3.708	13.790
Case Damping Factor			2.336	0.198
Damping Type				Smith
Unloading Quake	(% of loading quake)		30	102
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		7	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				2.920
Soil Plug Weight	(kN)			0.00
Soil Support Dashpot			5.810	0.000
Soil Support Weight	(kN)		10.36	0.00

CAPWAP match quality = 1.02 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 8.000 mm; blow count = 125 b/m
Computed: final set = 8.188 mm; blow count = 122 b/m
max. Top Comp. Stress = 388.4 MPa (T= 33.8 ms, max= 1.008 x Top)
max. Comp. Stress = 391.7 MPa (Z= 7.1 m, T= 35.0 ms)
max. Tens. Stress = -18.76 MPa (Z= 15.3 m, T= 67.2 ms)
max. Energy (EMX) = 140.74 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=56.37 mm

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT5

Test: 31-Mar-2015 14:16:

Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 8

CAPWAP(R) 2006-2

Inspecta

OP: TRe

EXTREMA TABLE

Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	3830.3	-0.2	388.4	-0.02	140.74	7.4	53.930
2	2.0	3843.7	-16.6	389.8	-1.68	138.67	7.4	52.499
4	4.1	3846.3	-70.3	390.0	-7.13	134.32	7.2	49.603
6	6.1	3838.3	-106.6	389.2	-10.80	127.57	7.0	46.663
8	8.1	3784.8	-124.4	383.8	-12.61	118.58	6.8	43.708
10	10.2	3685.0	-138.5	373.7	-14.05	108.98	6.6	40.749
12	12.2	3596.5	-151.1	364.7	-15.32	100.12	6.4	37.785
14	14.3	3532.4	-168.2	358.2	-17.06	92.30	6.1	34.852
16	16.3	3468.4	-170.8	351.7	-17.32	84.53	5.7	31.935
18	18.3	3388.5	-157.6	343.6	-15.98	76.15	5.2	29.171
20	20.4	3240.7	-124.1	328.6	-12.59	66.62	4.6	26.537
22	22.4	3058.4	-70.3	310.1	-7.13	56.55	4.1	24.102
24	24.4	2849.1	-5.3	288.9	-0.54	46.89	3.5	21.840
25	25.5	2877.1	-15.2	291.7	-1.54	45.68	3.2	20.747
26	26.5	2584.6	-0.1	262.1	-0.01	37.99	2.9	19.743
27	27.5	2633.1	-0.1	267.0	-0.01	37.09	2.8	18.799
28	28.5	2311.9	-0.1	234.4	-0.01	29.68	2.8	17.966
29	29.5	2299.9	-0.1	233.2	-0.01	29.01	2.5	17.153
30	30.5	1884.3	-0.1	191.1	-0.01	21.53	2.4	16.479
31	31.6	1892.8	-0.1	191.9	-0.01	21.10	2.2	15.821
32	32.6	1404.6	-0.1	142.4	-0.01	13.82	2.2	15.245
33	33.6	1425.0	-0.0	144.5	-0.00	6.34	2.0	14.676
Absolute	7.1			391.7			(T =	35.0 ms)
	15.3				-18.76		(T =	67.2 ms)

CASE METHOD

J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	4387.3	4216.4	4045.4	3874.5	3703.5	3532.6	3361.7	3190.7	3019.8	2848.8
RX	4387.3	4216.4	4045.4	3874.5	3703.5	3532.6	3399.9	3293.0	3186.2	3079.3
RU	4387.3	4216.4	4045.4	3874.5	3703.5	3532.6	3361.7	3190.7	3019.8	2848.8

RAU = 2954.8 (kN); RA2 = 3147.1 (kN)

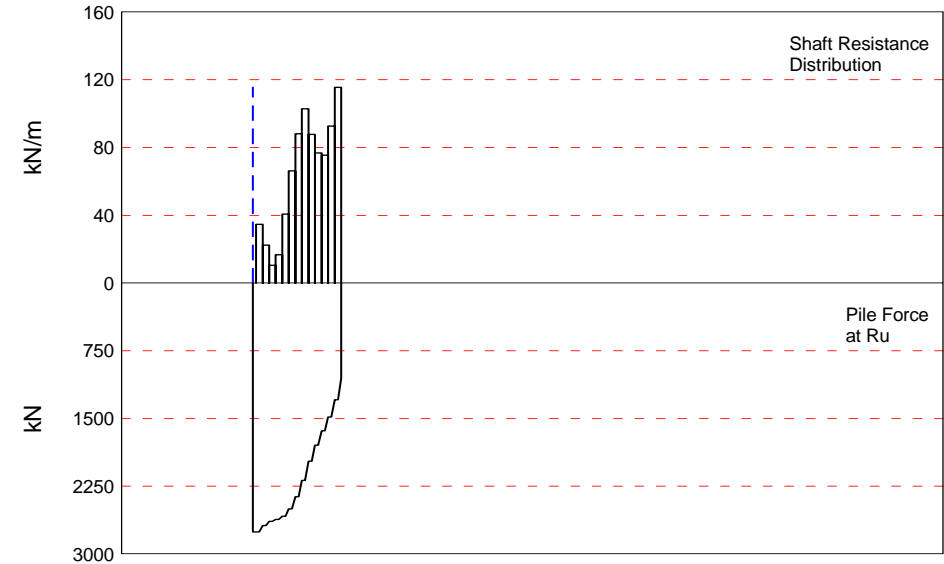
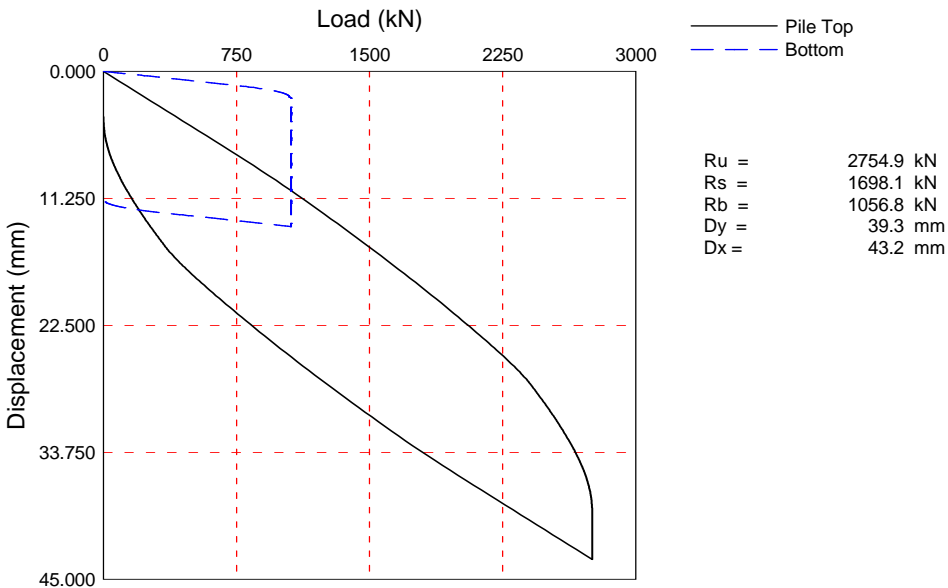
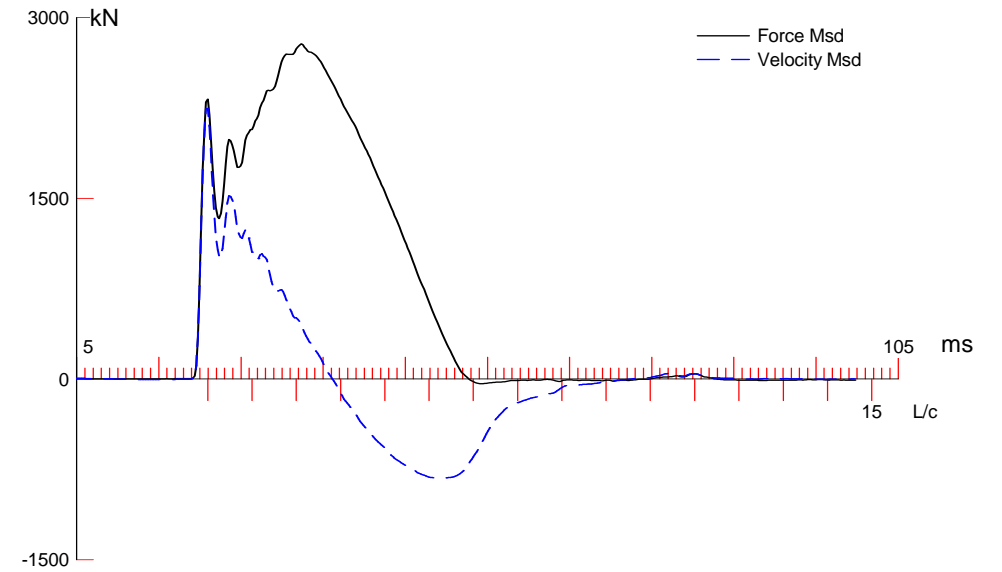
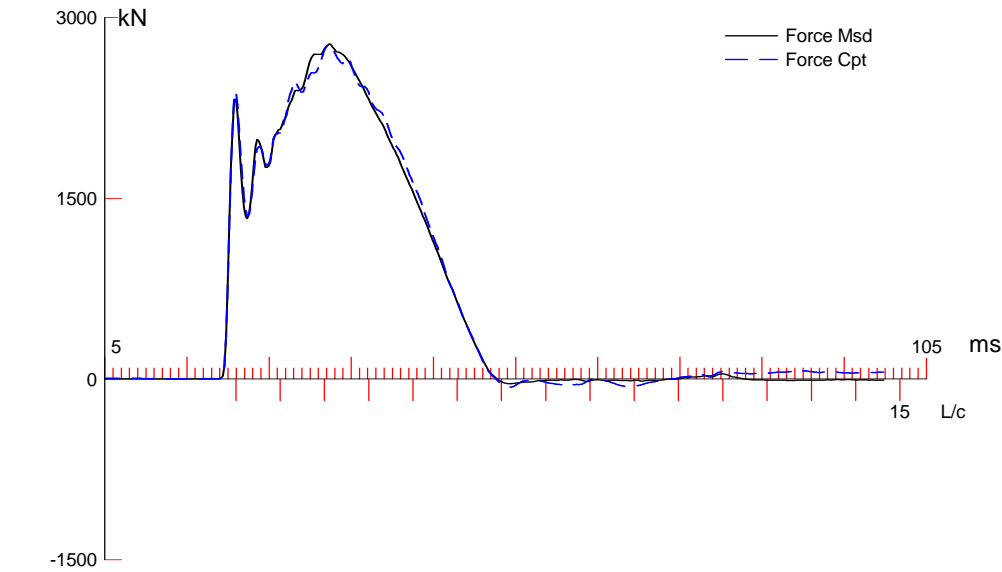
Current CAPWAP Ru = 3440.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.55; J(RX) = 0.57

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.52	22.46	3040.5	3056.2	3820.6	56.372	7.998	8.000	144.9	4502.5

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT5
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 8
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 14:16:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
33.60	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²	
Top Segment Length		1.02 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s	
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.199 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	13.1 ms



Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPT6 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 17
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 09:51:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS								
Total CAPWAP Capacity: 2754.9; along Shaft 1698.1; at Toe 1056.8 kN								
Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				2754.9				
1	3.1	3.1	70.8	2684.1	70.8	23.09	22.69	0.410
2	5.1	5.1	46.0	2638.1	116.8	22.50	22.11	0.410
3	7.2	7.2	21.5	2616.6	138.3	10.52	10.33	0.410
4	9.2	9.2	34.3	2582.3	172.6	16.78	16.49	0.410
5	11.2	11.2	83.3	2499.0	255.9	40.74	40.04	0.410
6	13.3	13.3	135.5	2363.5	391.4	66.28	65.13	0.410
7	15.3	15.3	180.0	2183.5	571.4	88.04	86.52	0.410
8	17.4	17.4	210.3	1973.2	781.7	102.86	101.09	0.410
9	19.4	19.4	179.4	1793.8	961.1	87.75	86.24	0.410
10	21.5	21.5	157.0	1636.8	1118.1	76.79	75.47	0.410
11	23.5	23.5	154.4	1482.4	1272.5	75.52	74.22	0.410
12	25.6	25.6	189.6	1292.8	1462.1	92.74	91.14	0.410
13	27.6	27.6	236.0	1056.8	1698.1	115.43	113.44	0.410
Avg. Shaft			130.6			61.53	60.46	0.410
Toe			1056.8			12825.69	1.313	
Soil Model Parameters/Extensions					Shaft	Toe		
Quake		(mm)			7.500	1.772		
Case Damping Factor					1.723	3.431		
Damping Type						Smith		
Reloading Level		(% of Ru)			100	100		
Unloading Level		(% of Ru)			0			
Soil Plug Weight		(kN)				2.36		
Soil Support Dashpot					0.000	3.010		
Soil Support Weight		(kN)			0.00	10.40		
CAPWAP match quality		=	1.19	(Force Match)	; RSA = 0			
Observed: final set		=	4.000 mm;	blow count	=	250 b/m		
Computed: final set		=	7.057 mm;	blow count	=	142 b/m		
max. Top Comp. Stress		=	281.3 MPa	(T= 32.5 ms, max= 1.011 x Top)				
max. Comp. Stress		=	284.4 MPa	(Z= 3.1 m, T= 32.7 ms)				
max. Tens. Stress		=	-18.05 MPa	(Z= 11.2 m, T= 56.1 ms)				
max. Energy (EMX)		=	72.99 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=36.06 mm				

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; File: ZPT6 14 vrk
Junttan HHK 7A; Blow: 17
Inspecta

Test: 18-Mar-2015 09:51:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2774.5	-67.4	281.3	-6.84	72.99	5.4	34.852
2	2.0	2803.7	-110.3	284.3	-11.18	71.75	5.4	33.621
4	4.1	2710.6	-113.8	274.9	-11.54	64.19	5.2	31.175
6	6.1	2715.6	-124.9	275.4	-12.67	58.68	5.2	28.806
8	8.2	2682.6	-148.3	272.0	-15.04	54.69	5.1	26.431
10	10.2	2641.2	-164.3	267.8	-16.66	50.40	4.9	24.116
12	12.3	2566.9	-156.6	260.3	-15.88	44.72	4.5	21.892
13	13.3	2557.7	-169.0	259.4	-17.13	43.51	4.3	20.814
14	14.3	2384.8	-127.5	241.8	-12.93	38.22	4.2	19.823
15	15.3	2410.7	-139.9	244.5	-14.19	37.21	3.9	18.836
16	16.4	2206.4	-87.9	223.7	-8.92	31.64	3.7	17.944
17	17.4	2211.2	-100.3	224.2	-10.17	30.88	3.5	17.084
18	18.4	1952.2	-59.8	198.0	-6.07	25.67	3.4	16.336
19	19.4	1936.0	-61.2	196.3	-6.21	25.11	3.2	15.603
20	20.4	1727.7	-52.5	175.2	-5.32	21.31	3.1	14.982
21	21.5	1749.5	-53.8	177.4	-5.45	20.96	3.0	14.408
22	22.5	1564.7	-44.6	158.7	-4.52	18.11	2.9	13.926
23	23.5	1555.1	-44.1	157.7	-4.48	17.90	2.7	13.481
24	24.5	1357.1	-33.5	137.6	-3.39	15.50	2.6	13.116
25	25.6	1468.0	-32.3	148.9	-3.28	15.37	2.3	12.774
26	26.6	1353.8	-19.3	137.3	-1.96	12.91	2.0	12.559
27	27.6	1417.7	-19.1	143.8	-1.93	10.16	1.8	12.360
Absolute	3.1			284.4			(T =	32.7 ms)
	11.2				-18.05		(T =	56.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	3429.9	3309.7	3189.4	3069.1	2948.8	2828.5	2708.3	2588.0	2467.7	2347.4
RX	3429.9	3309.7	3189.4	3069.1	2948.8	2828.5	2708.3	2618.3	2564.9	2514.4
RU	3429.9	3309.7	3189.4	3069.1	2948.8	2828.5	2708.3	2588.0	2467.7	2347.4

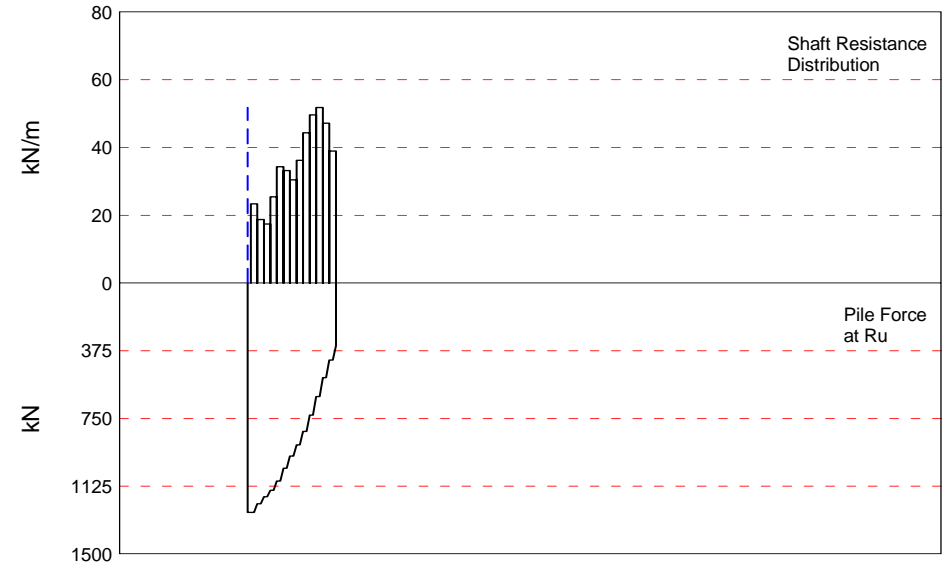
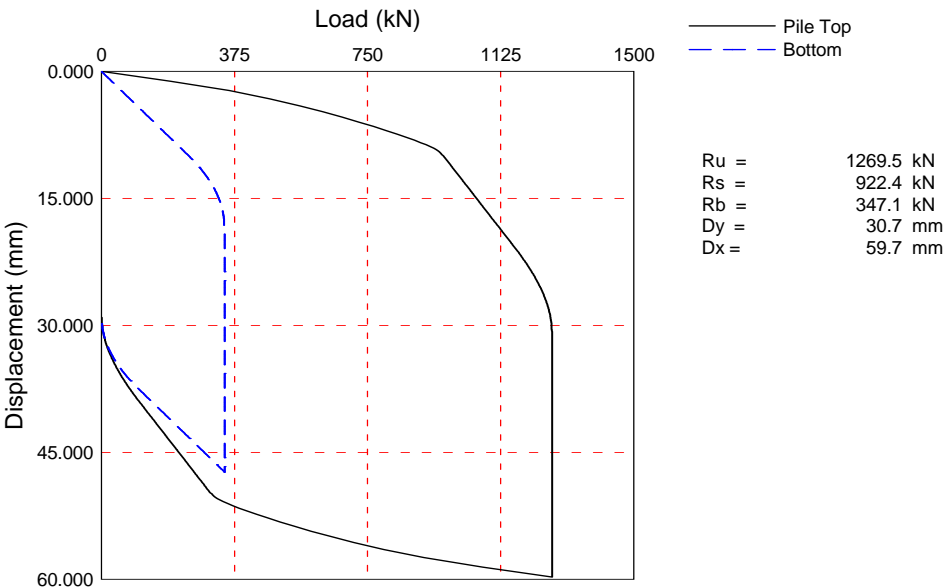
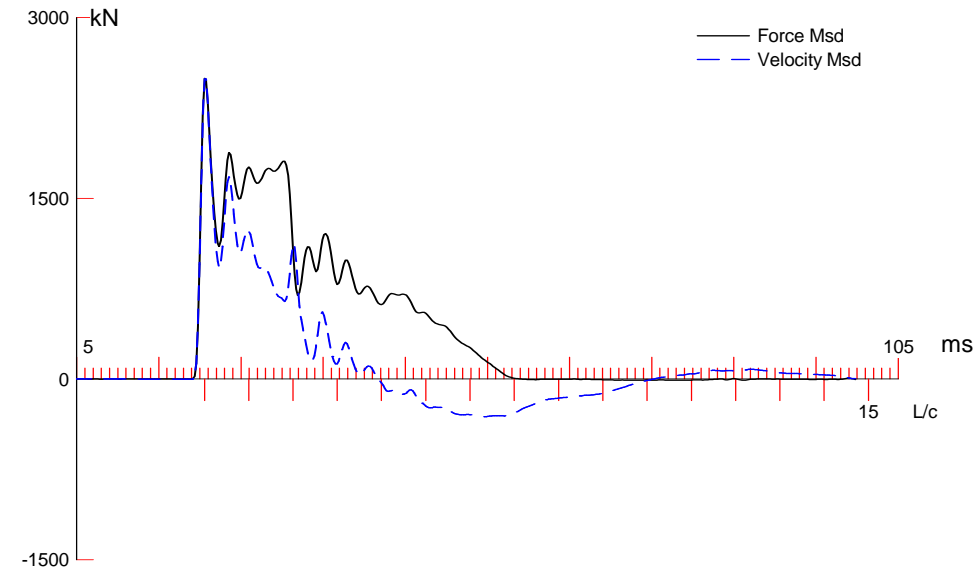
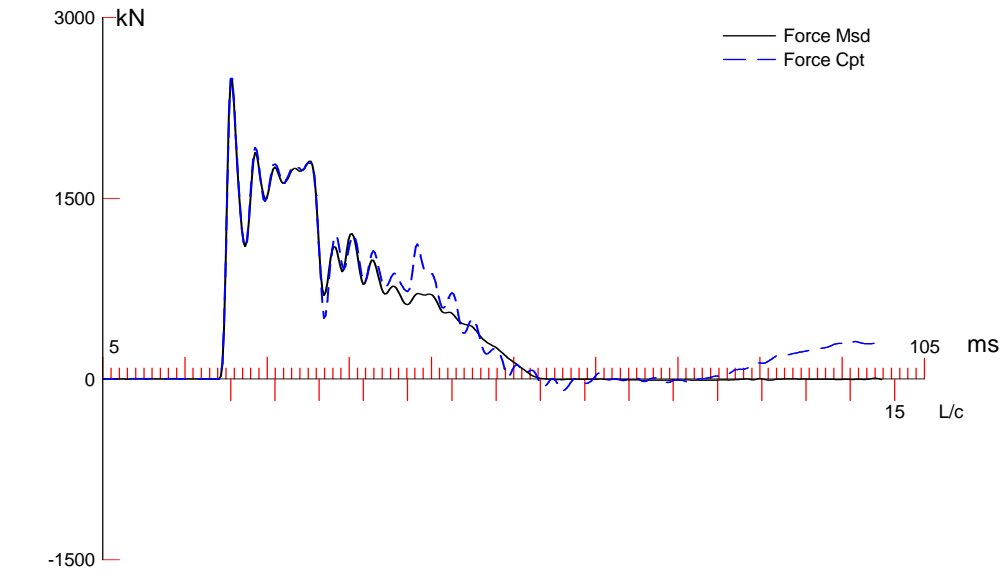
RAU = 2376.7 (kN); RA2 = 2518.2 (kN)

Current CAPWAP Ru = 2754.9 (kN); Corresponding J(RP)= 0.56; J(RX) = 0.56

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
5.65	21.16	2282.6	2350.2	2786.3	36.060	4.201	4.000	74.9	3737.2

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.60	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus 14vrk; Pile: ZPT6 14 vrk					Test: 18-Mar-2015 09:51:				
Junttan HHK 7A; Blow: 17					CAPWAP(R) 2006-2				
Inspecta					OP: TRe				
Toe Area		0.082			m ²				
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.05
27	27.60	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.05
Pile Damping		1.0 %, Time Incr			0.200 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c 10.8 ms		



Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT6 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 18
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:14:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity:			1269.5; along Shaft		922.4; at Toe		347.1 kN		
Soil Sgmt No.	Dist. Below Gages	Depth Below Grade	Ru	Force in Pile	Sum of Ru	Unit Resist. (Depth)	Unit Resist. (Area)	Smith Damping Factor	Quake
	m	m	kN	kN	kN	kN/m	kPa	s/m	mm
				1269.5					
1	3.1	3.1	47.9	1221.6	47.9	15.62	15.35	0.217	1.210
2	5.1	5.1	38.4	1183.2	86.3	18.78	18.46	0.217	1.211
3	7.2	7.2	35.7	1147.5	122.0	17.46	17.16	0.217	1.211
4	9.2	9.2	52.0	1095.5	174.0	25.43	25.00	0.217	1.211
5	11.2	11.2	70.2	1025.3	244.2	34.34	33.74	0.217	1.211
6	13.3	13.3	67.8	957.5	312.0	33.16	32.59	0.217	1.211
7	15.3	15.3	62.2	895.3	374.2	30.42	29.90	0.217	1.211
8	17.4	17.4	74.0	821.3	448.2	36.20	35.57	0.217	1.211
9	19.4	19.4	90.6	730.7	538.8	44.32	43.55	0.217	1.211
10	21.5	21.5	101.6	629.1	640.4	49.70	48.84	0.217	1.211
11	23.5	23.5	105.9	523.2	746.3	51.80	50.91	0.217	1.211
12	25.6	25.6	96.4	426.8	842.7	47.15	46.34	0.217	1.211
13	27.6	27.6	79.7	347.1	922.4	38.98	38.31	0.217	1.211
Avg. Shaft			71.0			33.42	32.84	0.217	1.211
Toe			347.1				4212.53	0.174	14.070
Soil Model Parameters/Extensions						Shaft	Toe		
Case Damping Factor						0.495	0.149		
Unloading Quake			(% of loading quake)			180	60		
Reloading Level			(% of Ru)			100	100		
Unloading Level			(% of Ru)			19			
Soil Plug Weight			(kN)				0.43		
Soil Support Dashpot						1.000	0.000		
Soil Support Weight			(kN)			10.40	0.00		
CAPWAP match quality			=	2.00	(Force Match)	; RSA = 0			
Observed: final set			=	29.000 mm;	blow count	=	34 b/m		
Computed: final set			=	27.127 mm;	blow count	=	37 b/m		
max. Top Comp. Stress			=	252.9 MPa	(T= 21.0 ms, max= 1.026 x Top)				
max. Comp. Stress			=	259.4 MPa	(Z= 3.1 m, T= 21.6 ms)				
max. Tens. Stress			=	-28.18 MPa	(Z= 24.5 m, T= 27.1 ms)				
max. Energy (EMX)			=	64.03 kJ;	max. Measured Top Displ. (DMX)=40.65 mm				

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT6 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 18
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:14:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	2494.2	-95.9	252.9	-9.73	64.03	6.1	40.283
2	2.0	2541.8	-86.7	257.8	-8.79	64.29	6.1	39.897
4	4.1	2476.4	-69.0	251.1	-7.00	60.99	5.9	39.069
6	6.1	2429.7	-89.7	246.4	-9.10	58.26	5.8	38.176
8	8.2	2403.6	-68.8	243.7	-6.97	55.89	5.7	37.441
10	10.2	2360.1	-25.8	239.3	-2.61	52.65	5.5	36.681
12	12.3	2279.8	-26.3	231.2	-2.67	48.42	5.3	35.764
13	13.3	2306.6	-33.0	233.9	-3.35	48.15	5.3	35.258
14	14.3	2201.2	-12.7	223.2	-1.28	44.38	5.2	34.822
15	15.3	2229.8	-12.2	226.1	-1.24	44.22	5.1	34.443
16	16.4	2143.6	-1.8	217.4	-0.18	40.91	5.0	34.127
17	17.4	2178.0	-1.8	220.9	-0.18	40.78	4.9	33.785
18	18.4	2077.6	-1.5	210.7	-0.15	37.02	4.8	33.517
19	19.4	2117.7	-1.5	214.7	-0.15	36.93	4.7	33.240
20	20.4	1991.7	-1.3	202.0	-0.13	32.46	4.9	33.003
21	21.5	2035.1	-1.2	206.4	-0.12	32.43	4.8	32.827
22	22.5	1892.1	-4.1	191.9	-0.41	27.55	4.3	32.652
23	23.5	1934.9	-132.1	196.2	-13.40	27.51	4.2	32.454
24	24.5	1768.0	-277.9	179.3	-28.18	22.60	4.1	32.258
25	25.6	1685.5	-99.4	170.9	-10.08	22.55	4.7	32.047
26	26.6	1193.5	-0.5	121.0	-0.05	18.03	5.7	31.854
27	27.6	772.0	-0.4	78.3	-0.04	14.10	6.3	31.663
Absolute	3.1			259.4			(T =	21.6 ms)
	24.5				-28.18		(T =	27.1 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	2482.3	2219.8	1957.2	1694.6	1432.0	1169.5	906.9	644.3	381.8	119.2
RX	2482.3	2219.8	1957.2	1694.6	1470.2	1337.4	1219.2	1127.0	1054.4	987.9
RU	2482.3	2219.8	1957.2	1694.6	1432.0	1169.5	906.9	644.3	381.8	119.2

RAU = 261.7 (kN); RA2 = 1589.5 (kN)

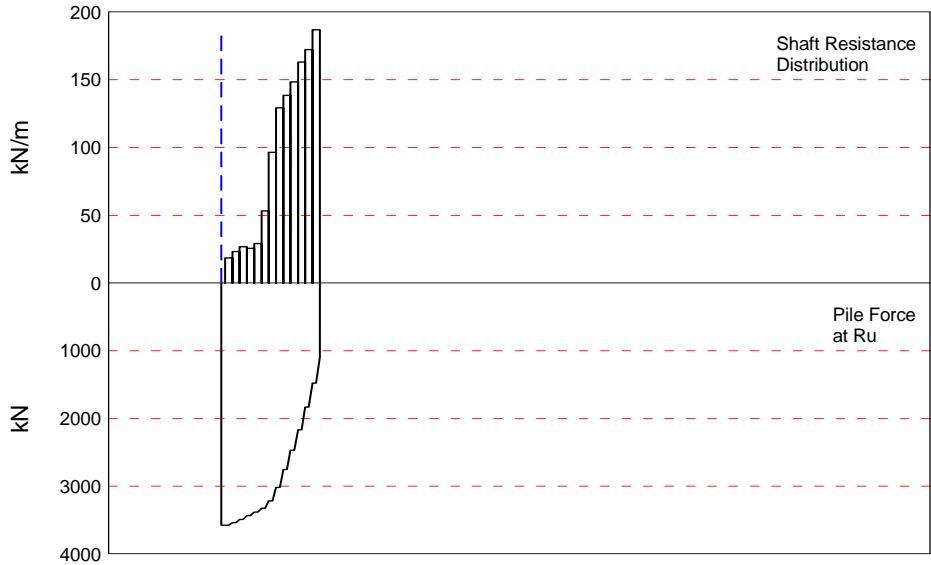
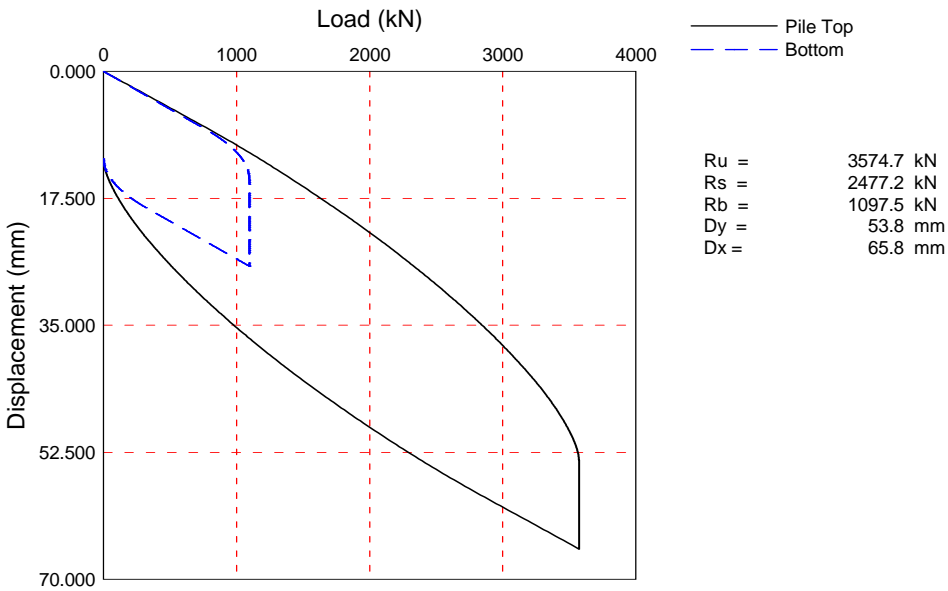
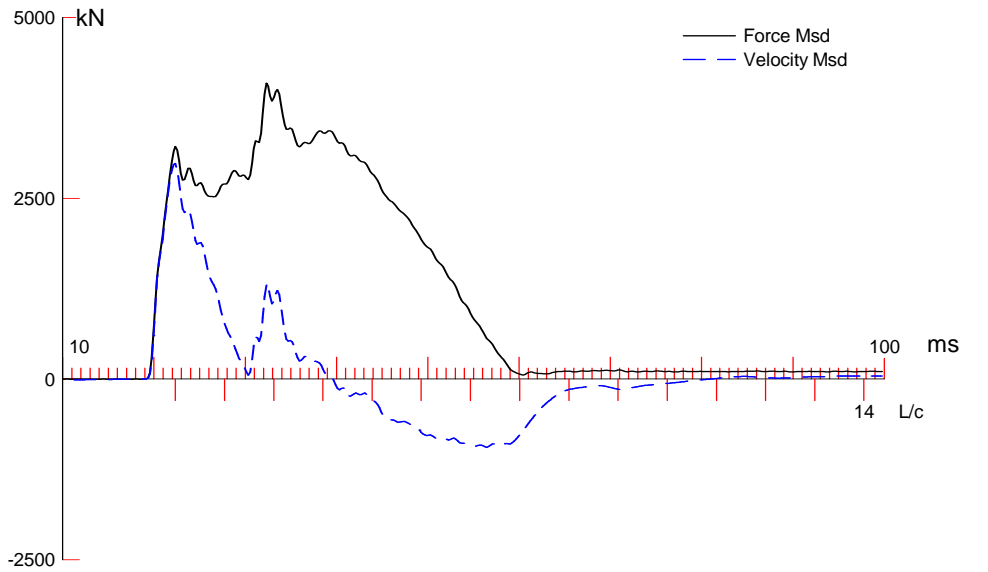
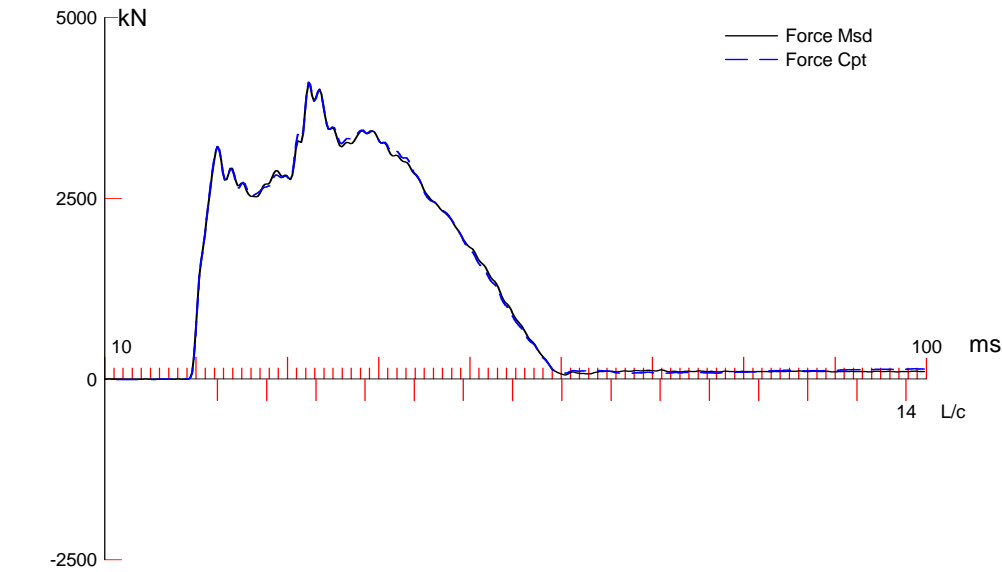
Current CAPWAP Ru = 1269.5 (kN); Corresponding J(RP)= 0.46; J(RX) = 0.56

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
6.31	20.76	2552.7	2555.3	2555.3	40.654	29.002	29.000	64.6	1854.7

Koepaalutus Zatelliitti; Pile: ZPT6 24h
Junttan HHK 5A; Blow: 18
Inspecta

Test: 03-Mar-2015 12:14:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

PILE PROFILE AND PILE MODEL					
	Depth	Area	E-Modulus	Spec. Weight	Perim.
	m	cm ²	MPa	kN/m ³	m
	0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
	27.60	98.61	210000.0	78.500	1.018
Toe Area		0.082	m ²		
Top Segment Length		1.02 m, Top Impedance	404.32 kN/m/s		
Pile Damping	1.0 %, Time Incr	0.200 ms, Wave Speed	5121.9 m/s, 2L/c	10.8 ms	



Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT6 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 14
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 13:50:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRE

CAPWAP SUMMARY RESULTS

Total CAPWAP Capacity: 3574.7; along Shaft 2477.2; at Toe 1097.5 kN

Soil Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	Depth Below Grade m	Ru kN	Force in Pile kN	Sum of Ru kN	Unit Resist. (Depth) kN/m	Unit Resist. (Area) kPa	Smith Damping Factor s/m
				3574.7				
1	3.1	3.1	37.7	3537.0	37.7	12.29	12.08	0.443
2	5.1	5.1	47.9	3489.1	85.6	23.43	23.03	0.443
3	7.2	7.2	55.0	3434.1	140.6	26.90	26.44	0.443
4	9.2	9.2	52.6	3381.5	193.2	25.73	25.28	0.443
5	11.2	11.2	59.8	3321.7	253.0	29.25	28.75	0.443
6	13.3	13.3	108.8	3212.9	361.8	53.22	52.30	0.443
7	15.3	15.3	197.1	3015.8	558.9	96.41	94.74	0.443
8	17.4	17.4	264.2	2751.6	823.1	129.23	127.00	0.443
9	19.4	19.4	283.0	2468.6	1106.1	138.42	136.04	0.443
10	21.5	21.5	303.4	2165.2	1409.5	148.40	145.84	0.443
11	23.5	23.5	333.6	1831.6	1743.1	163.17	160.36	0.443
12	25.6	25.6	352.0	1479.6	2095.1	172.17	169.20	0.443
13	27.6	27.6	382.1	1097.5	2477.2	186.90	183.67	0.443
Avg. Shaft			190.6			89.75	88.20	0.443
Toe			1097.5				13319.64	0.061

Soil Model Parameters/Extensions			Shaft	Toe
Quake	(mm)		7.501	11.422
Case Damping Factor			2.714	0.166
Damping Type				Smith
Unloading Quake	(% of loading quake)		46	100
Reloading Level	(% of Ru)		100	100
Unloading Level	(% of Ru)		0	
Resistance Gap (included in Toe Quake) (mm)				0.007
Soil Plug Weight	(kN)			2.21
Soil Support Dashpot			3.500	10.000
Soil Support Weight	(kN)		10.40	10.40

CAPWAP match quality = 1.14 (Wave Up Match); RSA = 0
Observed: final set = 12.000 mm; blow count = 83 b/m
Computed: final set = 7.129 mm; blow count = 140 b/m
max. Top Comp. Stress = 416.2 MPa (T= 32.7 ms, max= 1.000 x Top)
max. Comp. Stress = 416.2 MPa (Z= 1.0 m, T= 32.7 ms)
max. Tens. Stress = -11.96 MPa (Z= 13.3 m, T= 63.3 ms)
max. Energy (EMX) = 144.13 kJ; max. Measured Top Displ. (DMX)=51.33 mm

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT6 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 14
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 13:50:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

EXTREMA TABLE								
Pile Sgmnt No.	Dist. Below Gages m	max. Force kN	min. Force kN	max. Comp. Stress MPa	max. Tens. Stress MPa	max. Trnsfd. Energy kJ	max. Veloc. m/s	max. Displ. mm
1	1.0	4103.9	-7.0	416.2	-0.71	144.13	7.3	49.423
2	2.0	4100.1	-7.1	415.8	-0.72	141.23	7.2	47.724
4	4.1	4035.4	-10.0	409.2	-1.02	130.77	6.9	44.339
6	6.1	3987.3	-34.5	404.3	-3.50	119.80	6.7	40.987
8	8.2	3912.8	-55.9	396.8	-5.67	109.09	6.4	37.733
10	10.2	3857.7	-83.2	391.2	-8.43	99.72	5.9	34.629
12	12.3	3823.0	-96.3	387.7	-9.77	91.13	5.3	31.732
13	13.3	3859.4	-118.0	391.4	-11.96	89.01	5.0	30.290
14	14.3	3710.4	-91.3	376.3	-9.26	80.58	4.7	28.896
15	15.3	3745.4	-108.7	379.8	-11.02	78.61	4.4	27.503
16	16.4	3462.9	-48.4	351.2	-4.91	67.60	4.1	26.187
17	17.4	3493.1	-65.5	354.2	-6.64	65.83	3.8	24.868
18	18.4	3148.7	-5.6	319.3	-0.56	54.50	3.5	23.657
19	19.4	3179.4	-5.6	322.4	-0.57	53.03	3.2	22.455
20	20.4	2852.0	-4.7	289.2	-0.47	43.29	3.0	21.400
21	21.5	2868.4	-4.6	290.9	-0.47	42.22	2.7	20.378
22	22.5	2463.6	-3.7	249.8	-0.37	33.77	2.4	19.468
23	23.5	2503.6	-3.7	253.9	-0.37	32.94	2.4	18.564
24	24.5	2093.4	-2.6	212.3	-0.26	25.35	2.5	17.801
25	25.6	2037.3	-2.5	206.6	-0.25	24.79	2.5	17.059
26	26.6	1649.7	-1.5	167.3	-0.15	17.92	2.5	16.426
27	27.6	1629.5	-1.4	165.2	-0.15	10.91	2.4	15.834
Absolute		1.0		416.2			(T =	32.7 ms)
		13.3			-11.96		(T =	63.3 ms)

CASE METHOD										
J =	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
RP	4525.4	4355.2	4185.1	4015.0	3844.9	3674.8	3504.7	3334.6	3164.5	2994.4
RX	4525.4	4355.2	4185.1	4015.0	3871.1	3756.3	3641.6	3526.8	3414.0	3390.1
RU	4525.4	4355.2	4185.1	4015.0	3844.9	3674.8	3504.7	3334.6	3164.5	2994.4

RAU = 3388.4 (kN); RA2 = 3724.3 (kN)

Current CAPWAP Ru = 3574.7 (kN); Corresponding J(RP)= 0.56; J(RX) = 0.66

VMX	TVP	VT1*Z	FT1	FMX	DMX	DFN	SET	EMX	QUS
m/s	ms	kN	kN	kN	mm	mm	mm	kJ	kN
7.43	22.55	3003.0	3223.5	4122.7	51.329	11.990	12.000	148.3	4683.1

PILE PROFILE AND PILE MODEL				
Depth m	Area cm ²	E-Modulus MPa	Spec. Weight kN/m ³	Perim. m
0.00	98.61	210000.0	78.500	1.018
27.60	98.61	210000.0	78.500	1.018

Zatelliitin koepaalutus; Pile: ZPT6 28vrk
Vapaapudotusjarkale 9t; Blow: 14
Inspecta

Test: 31-Mar-2015 13:50:
CAPWAP(R) 2006-2
OP: TRe

Toe Area		0.082		m ²					
Segmnt Number	Dist. B.G. m	Impedance kN/m/s	Imped. Change %	Slack mm	Tension Eff.	Compression Slack mm	Eff.	Perim. m	Soil Plug kN
1	1.02	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.00
2	2.04	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
3	3.07	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
27	27.60	404.32	0.00	0.000	0.000	-0.000	0.000	1.018	0.02
Pile Damping		1.0 %, Time Incr		0.200 ms, Wave Speed		5121.9 m/s, 2L/c		10.8 ms	

Projekti	Koepaalutus	
Kohde	Zatelliitti	
Paalu nro.	ZPT4	
Pituus	37	m
Paalumateriaali	Teräs	
Paalun halkaisija D	323	mm
Paalun kärjen pinta-ala	0,082	m²
Paalun pl. piiri	1,01	m

Paalun kärkivöhykkeeksi katsotaan maakerros, joka ulottuu mitan 5D paalun kärjen yläpuolelle (min. 1 m) ja mitan 3D kärjen alapuolelle (min. 1 m)

5*D 1,615 m
3*D 1 m

	Syvyys m	Taso	N_{20} l/0,2 m	Max 15 MPa q_b MPa	Q_b MN	Max 150 KPa q_s kPa	Q_s MN	$R_{C,cal}$ MN
	0							
0-1	1	6	4		0,000	0,001	0,001	0,00
1-2	2	5	4	0,80	0,066	0,001	0,001	0,002
2-3	3	4	4	0,80	0,066	0,001	0,001	0,003
3-4	4	3	4	0,80	0,066	0,001	0,001	0,004
4-5	5	2	4	0,80	0,066	0,001	0,001	0,005
5-6	6	1	4	0,80	0,066	0,001	0,001	0,005
6-7	7	0	4	0,80	0,066	0,001	0,001	0,006
7-8	8	-1	10	1,20	0,098	0,034	0,031	0,007
8-9	9	-2	15	1,93	0,158	0,049	0,044	0,038
9-10	10	-3	20	3,00	0,246	0,063	0,056	0,083
10-11	11	-4	20	3,67	0,300	0,063	0,056	0,140
11-12	12	-5	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,198
12-13	13	-6	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,255
13-14	14	-7	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,312
14-15	15	-8	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,369
15-16	16	-9	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,426
16-17	17	-10	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,483
17-18	18	-11	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,540
18-19	19	-12	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,597
19-20	20	-13	20	4,00	0,328	0,063	0,056	0,654
20-21	21	-14	25	4,33	0,355	0,074	0,067	0,711
21-22	22	-15	30	5,00	0,410	0,083	0,075	0,779
22-23	23	-16	32	5,80	0,475	0,087	0,078	0,855
23-24	24	-17	32	6,27	0,513	0,087	0,078	0,934
24-25	25	-18	35	6,60	0,541	0,091	0,082	1,013
25-26	26	-19	40	7,13	0,585	0,096	0,087	1,096
26-27	27	-20	60	9,00	0,737	0,106	0,095	1,185
27-28	28	-21	60	10,67	0,874	0,106	0,095	1,281
28-29	29	-22	80	13,33	1,093	0,117	0,105	1,378
29-30	30	-23	100	15,00	1,229	0,128	0,115	1,485
30-31	31	-24	100	15,00	1,229	0,128	0,115	1,602
31-32	32	-25	100	15,00	1,229	0,128	0,115	1,719
32-33	33	-26	100	15,00	1,229	0,128	0,115	1,836
33-34	34	-27	100	15,00	1,229	0,128	0,115	1,954
34-35	35	-28	100	15,00	1,229	0,128	0,115	2,071
35-36	36	-29	100	15,00	1,229	0,128	0,115	2,188
36-37	37	-30	100	15,00	1,229	0,128	0,115	2,305
37-38	38	-31	100	15,00	1,229	0,128	0,115	2,422
	39	-32	100	15,00	1,229	0,128	0,115	2,539

	Projektin nimi		Suunnittelija
	Zatelliitin koepaalutus		Päivämäärä
ICP-metodi, arvo 10 päivän kulutta	Kuvaus	Paalu ZET1	Allekirjoitus

Perustuu Pälkomissionin raporttiin 103; Slagna friktionspålar

Paalun pituus	L =	14	[m]	arvo 0, jos ei käytössä arvo 0, jos ei käytössä 0,03 betonipaalulle 10 päivän jälkeen 0,02 karkeapintaiselle teräspaalulle	Paalun vaippakantavuus	323,4	[kN]	(qc tulisi määrittää 1,5°D kärjen ylä-ja alapuolelta, normaalisti kuitenkin 1,5°D < 1 m)	
Betonipaalun sivumita	B =	0	[mm]		Paalun kärkikantavuus	86,2	[kN]		
Teräspaalun halkaisija	D =	323,9	[mm]		Paalun kokonaiskantavuus	409,6	[kN]		
Paluun pinnan karkeus	d _h =	0,02							
Paalun ekvivalentti säde ilmanpaine	R = P _a =	162,0 100	[mm] [kPa]	D=	323,90	[mm]	Paalun vaippakestävyys vedossa	258,7	[kN]

Avoimilla teräsputkipaaluilla joudutaan laskentaa ja tuloksia säätämään ekvivalentti säteen avulla, koska paalun lävistäessä maaperän syntyy jännityshäviöitä vaipalla.

$R^* = \sqrt{R^2_y - R^2_i}$

$f_m = \sigma'_{rf} \tan \delta_{cv}$ $\sigma'_{rf} = \sigma'_{rc} + \Delta \sigma'_{rd}$ $\sigma'_{rc} = 0,029 \cdot q_c \cdot (\sigma'_{v0} / P_a)^{0,13} (h/R)^{-0,38}$ $\Delta \sigma'_{rd} = \frac{2 \cdot G \cdot \delta_h}{R}$ $f_{mt} = 0,8 \cdot (\sigma'_{rc} + \Delta \sigma'_{rd}) \cdot \tan \delta_{cv}$ $q_s = q_c \cdot (1 - 0,5 \cdot \log \frac{D}{D_{CPT}})$

Taso	Syvyys [m]	q _c [MPa]	h [m]	h/R	g [kN/m³]	u [kPa]	δ ₀ [kPa]	δ' _{v0} [kPa]	δ' _{rc} [kPa]	G [MPa]	Δσ' _{rd} [kPa]	σ' _{rf} [kPa]	δ _{cv} [°]	tanδ _{cv}	f _m [kN]	f _{m-total} [kN]	f _{mt} [kN]	f _{mt-total} [kN]	q _s [MPa]	f _s [kN]
5	1	1,5	13	80	18	0	18	18	6,58	23,22	5,74	12,31	35,0	0,70	8,62	8,62	6,90	6,90	0,78	64,63
4	2	1	12	74	18	10	36	26	4,74	22,26	5,50	10,24	35,0	0,70	7,17	15,79	5,74	12,63	0,52	43,09
3	3	1	11	68	18	20	54	34	5,07	23,90	5,90	10,98	35,0	0,70	7,69	23,48	6,15	18,78	0,52	43,09
2	4	1,5	10	62	18	30	72	42	8,11	30,41	7,51	15,62	35,0	0,70	10,94	34,41	8,75	27,53	0,78	64,63
1	5	1	9	56	18	40	90	50	5,76	26,26	6,49	12,24	35,0	0,70	8,57	42,99	6,86	34,39	0,52	43,09
0	6	1,5	8	49	18	50	108	58	9,21	33,32	8,23	17,44	35,0	0,70	12,21	55,20	9,77	44,16	0,78	64,63
-1	7	3	7	43	18	60	126	66	19,70	45,07	11,13	30,83	35,0	0,70	21,59	76,79	17,27	61,43	1,57	129,27
-2	8	3	6	37	18	70	144	74	21,20	46,88	11,58	32,78	35,0	0,70	22,95	99,74	18,36	79,79	1,57	129,27
-3	9	5	5	31	18	80	162	82	38,38	55,92	13,81	52,19	35,0	0,70	36,55	136,29	29,24	109,03	2,61	215,45
-4	10	4,5	4	25	18	90	180	90	38,06	56,47	13,95	52,01	35,0	0,70	36,41	172,70	29,13	138,16	2,35	193,90
-5	11	2,5	3	19	18	100	198	98	23,85	48,11	11,88	35,73	35,0	0,70	25,02	197,72	20,01	158,18	1,31	107,72
-6	12	6	2	12	18	110	216	106	67,45	64,35	15,89	83,35	35,0	0,70	58,36	256,08	46,69	204,87	3,14	258,54
-7	13	2	1	8	18	120	234	114	26,77	45,65	11,27	38,04	35,0	0,70	26,64	282,72	21,31	226,18	1,05	86,18
-8	14	2,5	0	8	18	130	252	122	33,76	51,34	12,68	46,44	35,0	0,70	32,52	315,24	26,01	252,19	1,31	107,72
-9	15	2	-1	8	18	140	270	130	0,00	47,25	11,67	11,67	35,0	0,70	8,17	323,41	6,54	258,73	1,05	86,18
-10	16	2,5	-2	8	18	150	288	138	0,00	53,19	13,14	13,14	35,0	0,70	9,20	332,61	7,36	266,09	1,31	107,72
-11	17	2,5	-3	8	18	160	306	146	0,00	54,04	13,35	13,35	35,0	0,70	9,35	341,96	7,48	273,56	1,31	107,72
-12	18	3	-4	8	18	170	324	154	0,00	59,27	14,64	14,64	35,0	0,70	10,25	352,21	8,20	281,76	1,57	129,27
-13	19	1,2	-5	8	18	180	342	162	0,00	37,28	9,21	9,21	35,0	0,70	6,45	358,65	5,16	286,92	0,63	51,71
-14	20	1,2	-6	8	18	190	360	170	0,00	37,61	9,29	9,29	35,0	0,70	6,50	365,16	5,20	292,13	0,63	51,71
-15	21	1,5	-7	8	18	200	378	178	0,00	43,54	10,75	10,75	35,0	0,70	7,53	372,69	6,02	298,15	0,78	64,63
-16	22	2,2	-8	8	18	210	396	186	0,00	54,24	13,40	13,40	35,0	0,70	9,38	382,07	7,50	305,65	1,15	94,80
-17	23	1,7	-9	8	18	220	414	194	0,00	47,68	11,78	11,78	35,0	0,70	8,25	390,31	6,60	312,25	0,89	73,25
-18	24	1,7	-10	8	18	230	432	202	0,00	48,09	11,88	11,88	35,0	0,70	8,32	398,63	6,65	318,90	0,89	73,25
-19	25	1,8	-11	8	18	240	450	210	0,00	50,10	12,37	12,37	35,0	0,70	8,66	407,29	6,93	325,84	0,94	77,56
-20	26	1,7	-12	8	18	250	468	218	0,00	48,86	12,07	12,07	35,0	0,70	8,45	415,75	6,76	332,60	0,89	73,25
-21	27	1,9	-13	8	18	260	486	226	0,00	52,49	12,96	12,96	35,0	0,70	9,08	424,82	7,26	339,86	0,99	81,87
-22	28	3,5	-14	8	18	270	504	234	0,00	71,43	17,64	17,64	35,0	0,70	12,35	437,18	9,88	349,74	1,83	150,81
-22	29	6	-15	8	18	280	522	242	0,00	87,45	21,60	21,60	35,0	0,70	15,12	452,30	12,10	361,84	3,14	258,54
-23	30	8	-16	8	18	290	540	250	0,00	95,65	23,62	23,62	35,0	0,70	16,54	468,84	13,23	375,07	4,18	344,71
-24	31	8	-17	8	18	300	558	258	0,00	96,79	23,91	23,91	35,0	0,70	16,74	485,58	13,39	388,46	4,18	344,71
-25	32	8	-18	8	18	310	576	266	0,00	97,91	24,18	24,18	35,0	0,70	16,93	502,51	13,55	402,01	4,18	344,71
-26	33	8	-19	8	18	320	594	274	0,00	99,00	24,45	24,45	35,0	0,70	17,12	519,63	13,70	415,71	4,18	344,71
-27	34	8	-20	8	18	330	612	282	0,00	100,07	24,72	24,72	35,0	0,70	17,31	536,94	13,84	429,55	4,18	344,71
-28	35	8	-21	8	18	340	630	290	0,00	101,11	24,97	24,97	35,0	0,70	17,49	554,43	13,99	443,54	4,18	344,71
-29	36	8	-22	8	18	320	648	328	0,00	105,80	26,13	26,13	25,0	0,47	12,19	566,61	9,75	453,29	4,18	344,71
-30	37	8	-23	8	18	330	666	336	0,00	106,74	26,36	26,36	25,0	0,47	12,29	578,91	9,83	463,13	4,18	344,71
-31	38	8	-24	8	21	340	687	347	0,00	107,99	26,67	26,67	25,0	0,47	12,44	591,34	9,95	473,08	4,18	344,71
-32	39	8	-25	8	21	350	708	358	0,00	109,22	26,98	26,98	25,0	0,47	12,58	603,92	10,06	483,14	4,18	344,71
-33	40	8	-26	8	21	360	729	369	0,00	110,41	27,27	27,27	25,0	0,47	12,72	616,64	10,17	493,31	4,18	344,71
-34	41	8	-27	8	21	370	750	380	0,00	111,58	27,56	27,56	25,0	0,47	12,85	629,49	10,28	503,59	4,18	344,71
-35	42	8	-28	8	21	380	771	391	0,00	112,72	27,84	27,84	25,0	0,47	12,98	642,47	10,39	513,98	4,18	344,71
-36	43	8	-29	8	21	390	792	402	0,00	113,84	28,12	28,12	25,0	0,47	13,11	655,59	10,49	524,47	4,18	344,71
-37	44	8	-30	8	21	400	813	413	0,00	114,94	28,39	28,39	25,0	0,47	13,24	668,82	10,59	535,06	4,18	344,71
-38	45	8	-31	8	21	410	834	424	0,00	116,01	28,65	28,65	25,0	0,47	13,36	682,18	10,69	545,75	4,18	344,71
-39	46	8	-32	8	21	420	855	435	0,00	117,05	28,91	28,91	25,0	0,47	13,48	695,67	10,79	556,53	4,18	344,71
-40	47	8	-33	8	21	430	876	446	0,00	118,08	29,17	29,17	25,0	0,47	13,60	709,27	10,88	567,41	4,18	344,71
-41	48	8	-34	8	21	440	897	457	0,00	119,09	29,41	29,41	25,0	0,47	13,72	722,98	10,97	578,38	4,18	344,71
-42	49	8	-35	8	21	450	918	468	0,00	120,08	29,66	29,66	25,0	0,47	13,83	736,81	11,06	589,45	4,18	344,71
-43	50	8	-36	8	21	460	939	479	0,00	121,05	29,90	29,90	25,0	0,47	13,94	750,75	11,15	600,60	4,18	344,71

Paalun kantavuus puristinkairaus-/puristin-heijarikairausvastuksen perusteella (LCPC)

LCPC method

Projekti	Zatelliitti				
Asiakas					
Kohde	TU-B2				
Paalun sivumitta	300 mm	Paalun pituus 23 m			
Paalun kärjen pinta-ala	0,09 m ²	Lähtötaso		5,5	
Piiri	1,2 m	Muunnoskerroin nettolyöntiluvulle n _{l0,2m} -> qc= 0,83 (Hki/Geo/74/97)			

Taso	Syv.	Maalaji	l/0,2 m	qc [Mpa]	Muunnettu qc [Mpa]	kc	α	qsmax [kPa]	Rk [kN]	qs [kN/m2]	Qp [kN]	Qs [kN]	Qs/Rk
4	1	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
3	2	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
2	3	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
1	4	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
0	5	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
-1	6	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	90	35	90	0	0,00
-2	7	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	222	100	180	42	0,19
-3	8	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	264	100	180	84	0,32
-4	9	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	306	100	180	126	0,41
-5	10	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	348	100	180	168	0,48
-6	11	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	390	100	180	210	0,54
-7	12	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	432	100	180	252	0,58
-8	13	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	474	100	180	294	0,62
-9	14	sa	0	4,0	4,0	0,5	40	35	516	100	180	336	0,65
-10	15	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	558	100	180	378	0,68
-11	16	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	600	100	180	420	0,70
-12	17	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	642	100	180	462	0,72
-13	18	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	684	100	180	504	0,74
-14	19	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	726	100	180	546	0,75
-15	20	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	768	100	180	588	0,77
-16	21	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	810	100	180	630	0,78
-17	22	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	942	100	270	672	0,71
-18	23	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1128	80	360	768	0,68
-19	24	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1224	80	360	864	0,71
-20	25	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1320	80	360	960	0,73
-21	26	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1416	80	360	1056	0,75
-22	27	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1557	80	405	1152	0,74
-23	28	Hk	50	0,0	10,0	0,5	100	80	1698	100	450	1248	0,73
-24	29	Hk	50	0,0	10,0	0,5	100	80	1839	100	495	1344	0,73
-25	30	Hk	60	0,0	12,0	0,5	100	120	2028	120	540	1488	0,73
-26	31	Hk	60	0,0	12,0	0,5	100	120	2240	120	608	1632	0,73
-27	32	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2292	100	540	1752	0,76
-28	33	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2412	100	540	1872	0,78
-29	34	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2532	100	540	1992	0,79
-30	35	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2652	100	540	2112	0,80
-31	36	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2772	100	540	2232	0,81
-32	37	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2892	100	540	2352	0,81
-33	38	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	3012	100	540	2472	0,82
-34	39	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	3132	100	540	2592	0,83
-35	40	Hk	340	0,0	15,0	0,4	150	120	3252	100	540	2712	0,83

Paalun kantavuus puristinkairaus-/puristin-heijarikairausvastuksen perusteella (LCPC)

LCPC method

Projekti	Zatelliitti				
Asiakas					
Kohde	TU-T3				
Paalun halkaisija	323,9 mm		Paalun pituus 24 m		
Paalun kärjen pinta-ala	0,0823553 m ²		Lähtötaso		5,5
Piiri	1,017046 m		Muunnoskerroin nettolyöntiluvulle n _{l/0,2m} -> qc= 0,83 (Hki/Geo/74/97)		

Taso	Syv.	Maalaji	l/0,2 m	qc [Mpa]	Muunnettu qc [Mpa]	kc	α	qsmax [kPa]	Rk [kN]	qs [kN/m2]	Qp [kN]	Qs [kN]	Qs/Rk
4	1	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
3	2	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
2	3	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
1	4	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
0	5	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	0	0	0	0	#DIV/0!
-1	6	Hk	0	0,0	0,0	0,5	30	35	82	35	82	0	0,00
-2	7	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	200	100	165	36	0,18
-3	8	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	236	100	165	71	0,30
-4	9	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	272	100	165	107	0,39
-5	10	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	307	100	165	142	0,46
-6	11	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	343	100	165	178	0,52
-7	12	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	378	100	165	214	0,56
-8	13	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	414	100	165	249	0,60
-9	14	sa	0	4,0	4,0	0,5	40	35	449	100	165	285	0,63
-10	15	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	485	100	165	320	0,66
-11	16	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	521	100	165	356	0,68
-12	17	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	556	100	165	392	0,70
-13	18	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	592	100	165	427	0,72
-14	19	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	627	100	165	463	0,74
-15	20	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	663	100	165	498	0,75
-16	21	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	699	100	165	534	0,76
-17	22	Hk	0	4,0	4,0	0,5	40	35	817	100	247	570	0,70
-18	23	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	980	80	329	651	0,66
-19	24	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1062	80	329	732	0,69
-20	25	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1143	80	329	814	0,71
-21	26	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1224	80	329	895	0,73
-22	27	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1347	80	371	976	0,72
-23	28	Hk	50	0,0	10,0	0,5	100	80	1470	100	412	1058	0,72
-24	29	Hk	50	0,0	10,0	0,5	100	80	1592	100	453	1139	0,72
-25	30	Hk	60	0,0	12,0	0,5	100	120	1755	120	494	1261	0,72
-26	31	Hk	60	0,0	12,0	0,5	100	120	1939	120	556	1383	0,71
-27	32	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	1979	100	494	1485	0,75
-28	33	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2081	100	494	1587	0,76
-29	34	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2182	100	494	1688	0,77
-30	35	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2284	100	494	1790	0,78
-31	36	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2386	100	494	1892	0,79
-32	37	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2488	100	494	1993	0,80
-33	38	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2589	100	494	2095	0,81
-34	39	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2691	100	494	2197	0,82
-35	40	Hk	340	0,0	15,0	0,4	150	120	2793	100	494	2299	0,82

Paalun kantavuus puristinkairaus-/puristin-heijarikairausvastuksen perusteella (LCPC)

LCPC method

Projekti	Zatelliitti		
Asiakas			
Kohde	ZPT4		
Paalun halkaisija	323,9 mm	Paalun pituus 37 m	
Paalun kärjen pinta-ala	0,0823553 m ²	Lähtötaso	7
Piiri	1,017046 m	Muunnoskerroin n _{l/0,2m} -> qc=	0,83 (Hki/Geo/74/97)

Taso	Syv.	Maalaji	l/0,2 m	qc [Mpa]	Muunnettu qc [Mpa]	kc	α	qsmax [kPa]	Rk [kN]	qs [kN/m2]	Qp [kN]	Qs [kN]	Qs/Rk
6	1	Hk	0	2,0	2,0	0,5	60	35	137	33	103	34	0,25
5	2	Hk	0	3,0	3,0	0,5	60	35	172	50	103	69	0,40
4	3	Hk	0	2,0	2,0	0,5	60	35	248	33	144	103	0,42
3	4	Hk	0	5,0	5,0	0,5	60	80	411	83	226	185	0,45
2	5	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	493	60	247	246	0,50
1	6	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	595	35	288	307	0,52
0	7	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	635	80	247	388	0,61
-1	8	Hk	20	0,0	4,0	0,5	60	35	630	67	206	424	0,67
-2	9	Hk	30	0,0	6,0	0,5	100	80	773	60	288	485	0,63
-3	10	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	896	80	329	566	0,63
-4	11	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	895	80	247	648	0,72
-5	12	Hk	20	0,0	4,0	0,5	60	35	889	67	206	683	0,77
-6	13	Hk	30	0,0	6,0	0,5	100	80	1032	60	288	744	0,72
-7	14	sa	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1114	80	288	826	0,74
-8	15	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1134	60	247	887	0,78
-9	16	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1195	60	247	948	0,79
-10	17	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1256	60	247	1009	0,80
-11	18	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1317	60	247	1070	0,81
-12	19	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1378	60	247	1131	0,82
-13	20	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1439	60	247	1192	0,83
-14	21	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1500	60	247	1253	0,84
-15	22	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1561	60	247	1314	0,84
-16	23	Hk	0	6,0	6,0	0,5	100	80	1663	60	288	1375	0,83
-17	24	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1785	80	329	1456	0,82
-18	25	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1867	80	329	1537	0,82
-19	26	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	1948	80	329	1619	0,83
-20	27	Hk	40	0,0	8,0	0,5	100	80	2174	80	474	1700	0,78
-21	28	Hk	100	0,0	15,0	0,4	150	120	2296	100	494	1802	0,78
-22	29	Hk	120	0,0	15,0	0,4	150	120	2398	100	494	1904	0,79
-23	30	Hk	140	0,0	15,0	0,4	150	120	2499	100	494	2005	0,80
-24	31	Hk	160	0,0	15,0	0,4	150	120	2601	100	494	2107	0,81
-25	32	Hk	180	0,0	15,0	0,4	150	120	2703	100	494	2209	0,82
-26	33	Hk	200	0,0	15,0	0,4	150	120	2805	100	494	2310	0,82
-27	34	Hk	220	0,0	15,0	0,4	150	120	2906	100	494	2412	0,83
-28	35	Hk	240	0,0	15,0	0,4	150	120	3008	100	494	2514	0,84
-29	36	Hk	260	0,0	15,0	0,4	150	120	3110	100	494	2616	0,84
-30	37	Hk	280	0,0	15,0	0,4	150	120	3211	100	494	2717	0,85
-38	38	Hk	300	0,0	15,0	0,4	150	120	3313	100	494	2819	0,85
-39	39	Hk	320	0,0	15,0	0,4	150	120	3415	100	494	2921	0,86
-40	40	Hk	340	0,0	15,0	0,4	150	120	3516	100	494	3022	0,86

Paalun kantavuus puristinkairaus-/puristin-heijarikairausvastuksen perusteella (LCPC)

LCPC method

Projekti	Zatelliitti koepaalutus		
Asiakas			
Kohde	ZET1		
Paalun halkaisija	323,9 mm	Elementin pituus 14 m	
Paalun kärjen pinta-ala	0,0823553 m ²	Lähtötaso	7
Piiri	1,017046 m	Muunnoskerroin n _{l/0,2m} -> qc=	0,83

Taso	Syv.	Maalaji	l/0,2 m	qc [Mpa]	Muunnettu qc [Mpa]	kc	α	qsmax [kPa]	Rk [kN]	qs [kN/m2]	Qp [kN]	Qs [kN]	Qs/Rk
5	1	Hk	0	1,5	1,5	0,5	60	35	77	25	51	25	0,33
4	2	Hk	0	1,0	1,0	0,5	60	35	84	17	41	42	0,51
3	3	Hk	0	1,0	1,0	0,5	60	35	111	17	51	59	0,54
2	4	Hk	0	1,5	1,5	0,5	60	35	136	25	51	85	0,62
1	5	Hk	0	1,0	1,0	0,5	60	35	153	17	51	102	0,66
0	6	Hk	0	1,5	1,5	0,5	60	35	220	35	93	127	0,58
-1	7	Si	0	3,0	3,0	0,5	60	35	286	50	124	163	0,57
-2	8	Si	0	3,0	3,0	0,5	60	35	363	50	165	198	0,55
-3	9	Si	0	5,0	5,0	0,5	60	35	430	83	196	234	0,54
-4	10	Si	0	4,5	4,5	0,5	60	35	414	75	144	270	0,65
-5	11	Si	0	2,5	2,5	0,5	60	35	480	42	175	305	0,64
-6	12	Si	0	6,0	6,0	0,5	60	80	551	100	165	386	0,70
-7	13	Si	0	2,0	2,0	0,5	60	35	513	33	93	420	0,82
-8	14	Si	0	2,5	2,5	0,5	60	35	549	42	93	456	0,83
-9	15	Si	0	2,0	2,0	0,5	60	35	583	33	93	490	0,84
-10	16	Si	0	2,5	2,5	0,5	60	35	628	42	103	525	0,84
-11	17	Si	0	2,5	2,5	0,5	60	35	674	42	113	561	0,83
-12	18	Si	0	3,0	3,0	0,5	60	35	658	50	62	597	0,91
-13	19	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-14	20	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-15	21	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-16	22	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-17	23	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-18	24	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-19	25	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-20	26	Si	0	0,0	0,0	0,5	60	35	597	0	0	597	1,00
-21	27	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-22	28	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-23	29	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-24	30	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-25	31	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-26	32	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-27	33	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-28	34	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-29	35	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-30	36	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-31	37	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-32	38	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-33	39	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00
-34	40	Hk	0	0,0	0,0	0,5	200	120	597	0	0	597	1,00

Projekti	Koepaalutus	
Kohde	Tuuliharju	
Paalu nro.	TU-B2	
Paalun pituus	23	m
Paalumateriaali	Teräsbetoni	
Paalun halkaisija D	300	mm
Paalun kärjen pinta-ala	0,090	m²
Paalun pl. piiri	1,20	m

Alle 400 mm paaluille (323,9 mm)

Vaippavastukselle suurin sallittu arvo on 120...150 kN/m2
Kärkivastukselle suurin arvo on 15 MN/m2

Syvyys m	Taso	Kitkakulma [°]	N_q	γ [kN/m³]	$\sigma'_{v;b}$ MPa	q_b MPa	$R_{b;cal}$ MN	$K_s \tan \varphi_a$	$\sigma'_{v;i}$	$q_{s;i}$ kPa	R_s MN	$R_{c;d}$ MN
1	4	28	25	18,5	0,0185	0,4625	0,0416	0,17	0,0185	3,145	0,0038	0,05
2	3	28	25	18,5	0,037	0,925	0,0833	0,17	0,037	6,29	0,0113	0,09
3	2	28	25	17	0,054	1,35	0,1215	0,17	0,054	9,18	0,0223	0,14
4	1	28	25	17	0,071	1,775	0,1598	0,17	0,071	12,07	0,0368	0,20
5	0	28	25	19	0,09	2,25	0,2025	0,17	0,09	15,3	0,0552	0,26
6	-1	28	25	19	0,109	2,725	0,2453	0,17	0,109	18,53	0,0774	0,32
7	-2	28	25	19	0,128	3,2	0,288	0,17	0,128	21,76	0,1035	0,39
8	-3	28	25	19	0,147	3,675	0,3308	0,17	0,147	24,99	0,1335	0,46
9	-4	28	25	19	0,166	4,15	0,3735	0,17	0,166	28,22	0,1674	0,54
10	-5	28	25	19	0,185	4,625	0,4163	0,17	0,185	31,45	0,2051	0,62
11	-6	28	25	19	0,204	5,1	0,459	0,17	0,204	34,68	0,2467	0,71
12	-7	28	25	19	0,223	5,575	0,5018	0,17	0,223	37,91	0,2922	0,79
13	-8	28	25	19	0,242	6,05	0,5445	0,17	0,242	41,14	0,3416	0,89
14	-9	28	25	19	0,261	6,525	0,5873	0,17	0,261	44,37	0,3948	0,98
15	-10	28	25	19	0,28	7	0,63	0,17	0,28	47,6	0,4520	1,08
16	-11	28	25	19	0,299	7,475	0,6728	0,17	0,299	50,83	0,5130	1,19
17	-12	28	25	19	0,318	7,95	0,7155	0,17	0,318	54,06	0,5778	1,29
18	-13	28	25	19	0,337	8,425	0,7583	0,17	0,337	57,29	0,6466	1,40
19	-14	28	25	19	0,356	8,9	0,801	0,17	0,356	60,52	0,7192	1,52
20	-15	28	25	19	0,375	9,375	0,8438	0,17	0,375	63,75	0,7957	1,64
21	-16	36	90	19	0,394	15	1,35	0,45	0,394	150	0,9757	2,33
22	-17	36	90	19	0,413	15	1,35	0,45	0,413	150	1,1557	2,51
23	-18	36	90	19	0,432	15	1,35	0,45	0,432	150	1,3357	2,69
24	-19	36	90	19	0,451	15	1,35	0,45	0,451	150	1,5157	2,87
25	-20	36	90	19	0,47	15	1,35	0,45	0,47	150	1,6957	3,05
26	-21	36	90	19	0,489	15	1,35	0,45	0,489	150	1,8757	3,23
27	-22	36	90	19	0,508	15	1,35	0,45	0,508	150	2,0557	3,41
28	-23	36	90	19	0,527	15	1,35	0,45	0,527	150	2,2357	3,59

Projekti	Koepaalutus	
Kohde	Tuuliharju	
Paalu nro.	TU-T3	
Paalun pituus	24	m
Paalumateriaali	Teräs	
Paalun halkaisija D	323,9	mm
Paalun kärjen pinta-ala	0,082	m²
Paalun pl. piiri	1,02	m

Alle 400 mm paaluille (323,9 mm)

Vaippavastukselle suurin sallittu arvo on 120...150 kN/m2
Kärkivastukselle suurin arvo on 15 MN/m2

Syvyys m	Taso	Kitkakulma [°]	N_q	γ [kN/m³]	$\sigma'_{v;b}$ MPa	q_b MPa	$R_{b;cal}$ MN	$K_s \tan \varphi_a$	$\sigma'_{v;i}$	$q_{s;i}$ kPa	R_s MN	$R_{c;d}$ MN
1	4	28	25	18,5	0,0185	0,4625	0,0381	0,17	0,0185	3,145	0,0032	0,04
2	3	28	25	18,5	0,037	0,925	0,0762	0,17	0,037	6,29	0,0096	0,09
3	2	28	25	17	0,054	1,35	0,1112	0,17	0,054	9,18	0,0189	0,13
4	1	28	25	17	0,071	1,775	0,1463	0,17	0,071	12,07	0,0312	0,18
5	0	28	25	19	0,09	2,25	0,1854	0,17	0,09	15,3	0,0468	0,23
6	-1	28	25	19	0,109	2,725	0,2245	0,17	0,109	18,53	0,0656	0,29
7	-2	28	25	19	0,128	3,2	0,2637	0,17	0,128	21,76	0,0878	0,35
8	-3	28	25	19	0,147	3,675	0,3028	0,17	0,147	24,99	0,1132	0,42
9	-4	28	25	19	0,166	4,15	0,3419	0,17	0,166	28,22	0,1419	0,48
10	-5	28	25	19	0,185	4,625	0,3811	0,17	0,185	31,45	0,1739	0,56
11	-6	28	25	19	0,204	5,1	0,4202	0,17	0,204	34,68	0,2092	0,63
12	-7	28	25	19	0,223	5,575	0,4594	0,17	0,223	37,91	0,2478	0,71
13	-8	28	25	19	0,242	6,05	0,4985	0,17	0,242	41,14	0,2897	0,79
14	-9	28	25	19	0,261	6,525	0,5376	0,17	0,261	44,37	0,3348	0,87
15	-10	28	25	19	0,28	7	0,5768	0,17	0,28	47,6	0,3832	0,96
16	-11	28	25	19	0,299	7,475	0,6159	0,17	0,299	50,83	0,4350	1,05
17	-12	28	25	19	0,318	7,95	0,6551	0,17	0,318	54,06	0,4900	1,15
18	-13	28	25	19	0,337	8,425	0,6942	0,17	0,337	57,29	0,5483	1,24
19	-14	28	25	19	0,356	8,9	0,7333	0,17	0,356	60,52	0,6099	1,34
20	-15	28	25	19	0,375	9,375	0,7725	0,17	0,375	63,75	0,6747	1,45
21	-16	36	90	19	0,394	15	1,236	0,45	0,394	150	0,8274	2,06
22	-17	36	90	19	0,413	15	1,236	0,45	0,413	150	0,9800	2,22
23	-18	36	90	19	0,432	15	1,236	0,45	0,432	150	1,1326	2,37
24	-19	36	90	19	0,451	15	1,236	0,45	0,451	150	1,2853	2,52
25	-20	36	90	19	0,47	15	1,236	0,45	0,47	150	1,4379	2,67
26	-21	36	90	19	0,489	15	1,236	0,45	0,489	150	1,5905	2,83
27	-22	36	90	19	0,508	15	1,236	0,45	0,508	150	1,7432	2,98
28	-23	36	90	19	0,527	15	1,236	0,45	0,527	150	1,8958	3,13

Projekti	Koepaalutus		<div>Alle 400 mm paaluille (323,9 mm)</div> <div>Vaippavastukselle suurin sallittu arvo on 120...150 kN/m2</div> <div>Kärkivastukselle suurin arvo on 15 MN/m2</div>									
Kohde	Zatelliitti											
Paalu nro.	ZPT4											
Paalun pituus	37	m										
Paalumateriaali	Teräs											
Paalun halkaisija D	323,9	mm										
Paalun kärjen pinta-ala	0,082	m²										
Paalun pl. piiri	1,02	m										
Syvyys	Taso	Kitkakulma	N_q	γ	$\sigma'_{v;b}$	q_b	$R_{b;cal}$	$K_s \tan \varphi_a$	$\sigma'_{v;i}$	$q_{s;i}$	R_s	$R_{c;cal}$
m		[°]		[kN/m³]	MPa	MPa	MN			kPa	MN	MN
1	6	28	25	18,5	0,0185	0,4625	0,0381	0,17	0,0185	3,145	0,0032	0,04
2	5	28	25	18,5	0,037	0,925	0,0762	0,17	0,037	6,29	0,0096	0,09
3	4	28	25	17	0,054	1,35	0,1112	0,17	0,054	9,18	0,0189	0,13
4	3	28	25	17	0,071	1,775	0,1463	0,17	0,071	12,07	0,0312	0,18
5	2	28	25	19	0,09	2,25	0,1854	0,17	0,09	15,3	0,0468	0,23
6	1	28	25	19	0,109	2,725	0,2245	0,17	0,109	18,53	0,0656	0,29
7	0	28	25	19	0,128	3,2	0,2637	0,17	0,128	21,76	0,0878	0,35
8	-1	30	35	19	0,147	5,145	0,4239	0,25	0,147	36,75	0,1252	0,55
9	-2	30	35	19	0,166	5,81	0,4787	0,25	0,166	41,5	0,1674	0,65
10	-3	30	35	19	0,185	6,475	0,5335	0,25	0,185	46,25	0,2145	0,75
11	-4	30	35	19	0,204	7,14	0,5883	0,25	0,204	51	0,2664	0,85
12	-5	30	35	19	0,223	7,805	0,6431	0,25	0,223	55,75	0,3231	0,97
13	-6	30	35	19	0,242	8,47	0,6979	0,25	0,242	60,5	0,3847	1,08
14	-7	30	35	19	0,261	9,135	0,7527	0,25	0,261	65,25	0,4511	1,20
15	-8	30	35	19	0,28	9,8	0,8075	0,25	0,28	70	0,5223	1,33
16	-9	30	35	19	0,299	10,465	0,8623	0,25	0,299	74,75	0,5984	1,46
17	-10	30	35	19	0,318	11,13	0,9171	0,25	0,318	79,5	0,6792	1,60
18	-11	30	35	19	0,337	11,795	0,9719	0,25	0,337	84,25	0,7650	1,74
19	-12	30	35	19	0,356	12,46	1,0267	0,25	0,356	89	0,8555	1,88
20	-13	30	35	19	0,375	13,125	1,0815	0,25	0,375	93,75	0,9509	2,03
21	-14	30	35	19	0,394	13,79	1,1363	0,25	0,394	98,5	1,0512	2,19
22	-15	30	35	19	0,413	14,455	1,191	0,25	0,413	103,25	1,1562	2,35
23	-16	36	90	19	0,432	15	1,236	0,45	0,432	150	1,3089	2,54
24	-17	36	90	19	0,451	15	1,236	0,45	0,451	150	1,4615	2,70
25	-18	36	90	19	0,47	15	1,236	0,45	0,47	150	1,6141	2,85
26	-19	36	90	19	0,489	15	1,236	0,45	0,489	150	1,7668	3,00
27	-20	36	90	19	0,508	15	1,236	0,45	0,508	150	1,9194	3,16
28	-21	36	90	19	0,527	15	1,236	0,45	0,527	150	2,0720	3,31
29	-22	36	90	19	0,546	15	1,236	0,45	0,546	150	2,2247	3,46
30	-23	36	90	19	0,565	15	1,236	0,45	0,565	150	2,3773	3,61
31	-24	36	90	19	0,584	15	1,236	0,45	0,584	150	2,5299	3,77
32	-25	36	90	19	0,603	15	1,236	0,45	0,603	150	2,6826	3,92
33	-26	36	90	19	0,622	15	1,236	0,45	0,622	150	2,8352	4,07
34	-27	40	185	19	0,641	15	1,236	0,45	0,641	150	2,9878	4,22
35	-28	40	185	19	0,66	15	1,236	0,45	0,66	150	3,1405	4,38
36	-29	40	185	19	0,679	15	1,236	0,45	0,679	150	3,2931	4,53
37	-30	40	185	19	0,698	15	1,236	0,45	0,698	150	3,4457	4,68
38	-31	40	185	19	0,717	15	1,236	0,45	0,717	150	3,5984	4,83

Projekti	Koepaalutus											
Kohde	Zatelliitti		10*D = 3,239 m									
Paalu nro.	ZPT4											
Paalun pituus	37	m										
Paalumateriaali	Teräs											
Paalun halkaisija D	323,9	mm										
Paalun kärjen pinta-ala	0,082	m²										
Paalun pl. piiri	1,02	m										
			Alle 400 mm paaluille (323,9 mm)									
			Vaippavastukselle suurin sallittu arvo on 120...150 kN/m2									
			Kärkivastukselle suurin arvo on 15 MN/m2									
Syvyys	Taso	Kitkakulma	N_q	γ	$\sigma'_{v;b}$	q_b	$R_{b;cal}$	$K_s \tan \varphi_a$	$\sigma'_{v;i}$	$q_{s;i}$	R_s	$R_{c;cal}$
m		[°]		[kN/m³]	MPa	MPa	MN			kPa	MN	MN
1	6	28	25	18,5	0,0185	0,4625	0,0381	0,17	0,0185	3,145	0,0032	0,04
2	5	28	25	18,5	0,037	0,925	0,0762	0,17	0,037	6,29	0,0096	0,09
3	4	28	25	17	0,054	1,35	0,1112	0,17	0,054	9,18	0,0189	0,13
4	3	28	25	17	0,054	1,35	0,1112	0,17	0,054	9,18	0,0283	0,14
5	2	28	25	19	0,054	1,35	0,1112	0,17	0,054	9,18	0,0376	0,15
6	1	28	25	19	0,055	1,375	0,1133	0,17	0,055	9,35	0,0471	0,16
7	0	28	25	19	0,057	1,425	0,1174	0,17	0,057	9,69	0,0570	0,17
8	-1	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,0715	0,24
9	-2	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,0860	0,25
10	-3	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1005	0,26
11	-4	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1150	0,28
12	-5	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1295	0,29
13	-6	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1440	0,31
14	-7	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1585	0,32
15	-8	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1730	0,34
16	-9	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,1875	0,35
17	-10	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,2020	0,37
18	-11	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,2165	0,38
19	-12	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,2310	0,40
20	-13	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,2455	0,41
21	-14	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,2600	0,42
22	-15	30	35	19	0,057	1,995	0,1644	0,25	0,057	14,25	0,2745	0,44
23	-16	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,3006	0,72
24	-17	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,3267	0,75
25	-18	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,3528	0,78
26	-19	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,3789	0,80
27	-20	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,4050	0,83
28	-21	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,4311	0,85
29	-22	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,4572	0,88
30	-23	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,4833	0,91
31	-24	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,5094	0,93
32	-25	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,5355	0,96
33	-26	36	90	19	0,057	5,13	0,4227	0,45	0,057	25,65	0,5616	0,98
34	-27	40	185	19	0,057	10,545	0,8689	0,45	0,057	25,65	0,5877	1,46
35	-28	40	185	19	0,057	10,545	0,8689	0,45	0,057	25,65	0,6138	1,48
36	-29	40	185	19	0,057	10,545	0,8689	0,45	0,057	25,65	0,6399	1,51
37	-30	40	185	19	0,057	10,545	0,8689	0,45	0,057	25,65	0,6660	1,53
38	-31	40	185	19	0,057	10,545	0,8689	0,45	0,057	25,65	0,6921	1,56

Projekti	Koepaalutus											
Kohde	Zatelliitti		20*D = 6,478 m									
Paalu nro.	ZPT4											
Paalun pituus	37	m	Alle 400 mm paaluille (323,9 mm)									
Paalumateriaali	Teräs											
Paalun halkaisija D	323,9	mm	Vaippavastukselle suurin sallittu arvo on 120...150 kN/m2									
Paalun kärjen pinta-ala	0,082	m²	Kärkivastukselle suurin arvo on 15 MN/m2									
Paalun pl. piiri	1,02	m										
Syvyys	Taso	Kitkakulma	N_q	γ	$\sigma'_{v;b}$	q_b	$R_{b;cal}$	$K_s \tan \varphi_a$	$\sigma'_{v;i}$	$q_{s;i}$	R_s	$R_{c;cal}$
m		[°]		[kN/m³]	MPa	MPa	MN			kPa	MN	MN
1	6	28	25	18,5	0,0185	0,4625	0,0381	0,17	0,0185	3,145	0,0032	0,04
2	5	28	25	18,5	0,037	0,925	0,0762	0,17	0,037	6,29	0,0096	0,09
3	4	28	25	17	0,054	1,35	0,1112	0,17	0,054	9,18	0,0189	0,13
4	3	28	25	17	0,071	1,775	0,1463	0,17	0,071	12,07	0,0312	0,18
5	2	28	25	19	0,09	2,25	0,1854	0,17	0,09	15,3	0,0468	0,23
6	1	28	25	19	0,109	2,725	0,2245	0,17	0,109	18,53	0,0656	0,29
7	0	28	25	19	0,109	2,725	0,2245	0,17	0,109	18,53	0,0845	0,31
8	-1	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,1122	0,43
9	-2	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,1400	0,45
10	-3	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,1677	0,48
11	-4	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,1954	0,51
12	-5	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,2231	0,54
13	-6	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,2509	0,57
14	-7	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,2786	0,59
15	-8	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,3063	0,62
16	-9	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,3341	0,65
17	-10	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,3618	0,68
18	-11	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,3895	0,70
19	-12	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,4172	0,73
20	-13	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,4450	0,76
21	-14	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,4727	0,79
22	-15	30	35	19	0,109	3,815	0,3143	0,25	0,109	27,25	0,5004	0,81
23	-16	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,5503	1,36
24	-17	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,6003	1,41
25	-18	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,6502	1,46
26	-19	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,7001	1,51
27	-20	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,7500	1,56
28	-21	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,7999	1,61
29	-22	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,8498	1,66
30	-23	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,8997	1,71
31	-24	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,9496	1,76
32	-25	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	0,9995	1,81
33	-26	36	90	19	0,109	9,81	0,8083	0,45	0,109	49,05	1,0495	1,86
34	-27	40	185	19	0,109	15	1,236	0,45	0,109	49,05	1,0994	2,34
35	-28	40	185	19	0,109	15	1,236	0,45	0,109	49,05	1,1493	2,39
36	-29	40	185	19	0,109	15	1,236	0,45	0,109	49,05	1,1992	2,44
37	-30	40	185	19	0,109	15	1,236	0,45	0,109	49,05	1,2491	2,49
38	-31	40	185	19	0,109	15	1,236	0,45	0,109	49,05	1,2990	2,53